# CHEMICAL FRENCH

# Chemical French

## An Introduction to the Study of Frenc
## Chemical Literature

BY

MAURICE L. DOLT, Ph. D.

FORMERLY
PROFESSOR OF CHEMISTRY IN THE NORTH DAKOTA
AGRICULTURAL COLLEGE
NOW
RESEARCH CHEMIST FOR THE AMERICAN COTTON OIL COMPA
AND SUBSIDIARIES THE N K FAIRBANK AND UNION SEEC
AND FERTILIZER COMPANY, CHICAGO, ILL.

EASTON, PA
THE CHEMICAL PUBLISHING CO
1920

TO MY MOTHER

For the sacrifices she made in giving me my early education in th
French Schools, this volume is gratefully dedicated

# PREFACE TO THE FIRST EDITION.

This book is intended for students of chemistry wishing to acquire a reading knowledge of French in that particular science. A reading knowledge of French is required of students of chemistry in most institutions, especially of candidates for advanced degrees For those who have had one or two years of French, the reading of scientific French will still offer certain difficulties which an ordinary dictionary will not solve, and for those who have not had any French, the task will be enough to discourage them Moreover, the only available material has been articles in French journals of chemistry, and these articles not being written for students of French, are often too hard for them.

This volume is prepared to help students to overcome the difficulties of the language, and, at the same time, to make them acquire a vocabulary large enough to enable them to read, with understanding, any article written in any branch of chemistry

The book can be used by a beginner or a class of beginners The first four exercises are a review of the essentials of the language, and, with the help of a French grammar, should be studied very carefully. Then follows a series of graded exercises on inorganic chemistry, qualitative and quantitative analysis, organic chemistry, physical chemistry and finally industrial chemistry It is of course impossible, within the scope of this book, to cover every phase of industrial chemistry, but the few exercises included will probably prove useful.

If students master the first part of the book, the second part, which includes advanced selections, should give very little difficulty The selections were made carefully, with two things in mind first, to give practice in reading original articles in the different branches of chemistry; second, to give an opportunity to American students to get acquainted with the pioneer work of the French chemists These selections include articles published in the French journals of chemistry by some of the best known French chemists, and appear either in full or in abbreviated form

For permission to include articles and to make use of material gathered from different text-books, I wish to express my thanks to the following authors. Paul Sabatier, V Grignard, Jean Effront, Mme Sklodowska Curie, also to the following publishers Masson & Co, Paris, Charles Béranger, Paris, Dunot & Pinat, Paris, and again to Charles Béranger for permission to reproduce articles from the *Annales de Chimie et de Physique*

It is hoped that this book may be of service to all those who wish to acquire a sufficient knowledge of French to consult the French literature of chemistry, and especially to those who have only a very limited knowledge of that language.

Any corrections or suggestions will be gratefully received by the author.

M L D

FARGO, N Dak, August 6, 1917

---

## PREFACE TO THE SECOND EDITION.

The good reception given by both students and professors to the first edition of "Chemical French" is very gratifying to the author who feels that his book must be filling a long felt want

A few changes have been made in the second edition Typographical errors which invariably creep in a first edition of a book published in a foreign language have been corrected as far as possible, words found in the vocabularies at the head of each exercise have been placed in italics in the text to help the students in locating them quickly, one exercise has been partly rewritten, two new selections for advanced reading have been added, one by Le Chatelier and the other by Haller, both well known chemists, the vocabulary has also been enlarged

The author wishes here to thank all those who have helped him by suggestions and criticisms, especially Dr Austin M Patterson and Dr. Wilder D Bancroft for the pains they have taken in reading the book over and making notes of errors

M L. D

CHICAGO, ILL, June 15, 1919.

# TABLE OF CONTENTS.

# Chemical French.

## PART I.

### Elementary Exercises in Inorganic, Analytical, Organic, Physical and Industrial Chemistry.

TABLE DES ÉLÉMENTS ET DE LEURS SYMBOLES.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Aluminium | Al | Molybdène | Mo |
| Antimoine | Sb | Néodyme | Nd |
| Argent (silver) | Ag | Néon | Ne |
| Argon | A | Nickel | Ni |
| Arsenic | As | Or (gold) | Au |
| Azote (nitrogen) | Az | Osmium | Os |
| Baryum | Ba | Oxygène | O |
| Beryllium | Be | Palladium | Pd |
| Bismuth | Bi | Phosphore | P |
| Bore | B | Platine | Pt |
| Brome | Br | Plomb (lead) | Pb |
| Cadmium | Cd | Potassium | K |
| Cœsium | Cs | Praséodyme | Pr |
| Calcium | Ca | Radium | Ra |
| Carbone | C | Rhodium | Rh |
| Cerium | Ce | Rubidium | Rb |
| Chlore | Cl | Ruthénium | Ru |
| Chrome | Cr | Samarium | Sm |
| Cobalt | Co | Scandium | Sc |
| Crypton | Kr | Sélénium | Se |
| Cuivre (copper) | Cu | Silicium | Si |
| Erbium | Er | Sodium | Na |
| Etain (tin) | Sn | Soufre (sulfur) | S |
| Fer (iron) | Fe | Strontium | Sr |
| Fluor | F | Tantale | Ta |
| Gadolinium | Gd | Tellure | Te |
| Gallium | Ga | Terbium | Tb |
| Germanium | Ge | Thallium | Tl |
| Helium | He | Thorium | Th |
| Hydrogène | H | Thulium | Tm |
| Iode | I | Titane | Ti |
| Indium | In | Tungstène | W |
| Iridium | Ir | Uranium | U |
| Lanthane | La | Vanadium | V |
| Lithium | Li | Xénon | Xe |
| Magnésium | Mg | Ytterbium | Y |
| Manganèse | Mn | Zinc | Zn |
| Mercure | Hg | Zirconium | Zr |

## EXERCISE 1 *

### VOCABULARY

le, la, l', les = the
du, de la, de l', des = some
un, une = a, one
de, d' = of
du, de la, de l', des = of the, from the
il y a = there is, there are
il n'y a pas = there is not, there are not
pas de = no, not any
et = and
ou = or
au, à la, à l', aux = to the, in the, at the
il est = it (or he) is
il n'est pas = it is not
ils sont = they are
ils ne sont pas = they are not
il a = it (or he) has
il n'a pas = it (or he) has not
ils ont = they have
ils n'ont pas = they have not
mais = but

*Le* fer; le cuivre; *l'*argent; *la* chimie, le métal; *les* métaux; *un* acide, *des* sels, *du* zinc; du brome, *de l'*azote; *de la* paraffine; des éléments; un corps simple; des corps composés

L'azote est un gaz; le plomb *est* un métal; l'or *et* l'argent *sont* des métaux; l'hydrogène et l'oxygène sont des gaz

L'hydrogène est un corps simple, l'eau *n'est pas* un corps simple, mais un corps composé. L'eau est composée d'hydrogène et d'oxygène Le brome et l'iode sont des corps simples ou éléments, l'alcool et l'acide sulfurique ne sont pas des corps simples, mais des corps composés

Le symbole *du* fer est Fe; la formule *de l'*acide sulfurique est $H_2SO_4$; la formule générale *des* éthers est $R_2O$ Le salpêtre vient du Chili; le soufre vient de la Sicile; le cuivre vient des Etats-Unis d'Amérique Le poids atomique du plomb est 207; le poids moléculaire de l'eau est 18 Le point de fusion de l'iodoforme est 119°.

Le fer se combine *au* soufre pour donner un sulfure; l'hydrogène se combine *à l'*oxygène pour former l'eau; l'oxygène s'unit *aux* métaux comme le fer et le mercure pour former des oxydes

*Il y a* du pétrole aux Etats-Unis; *il n'y a pas* de mines d'or en France On trouve du salpêtre au Chili.

Le sucre est soluble dans l'eau; il n'est pas soluble dans l'éther. La paraffine est soluble dans l'éther; elle n'est pas soluble dans

* Review of the definite and indefinite articles and their contractions

l'eau. Les métaux sont solides à la température ordinaire, excepté le mercure Le méthane et l'éthane sont des hydrocarbures saturés, l'éthylène et l'acétylène ne sont pas saturés. Le benzol *a* une odeur agréable; le camphre et le menthol *ont* une odeur agréable Le sodium a une grande affinité pour le chlore, *il n'a pas* une grande affinité pour l'hydrogène. Les métaux ont une grande affinité pour l'oxygène à haute température, mais *ils n'ont pas* d'affinité pour l'hydrogène.

(REVIEW OF THE DEMONSTRATIVE ADJECTIVES AND PRONOUNS)

ce, cet, cette = this, that
ces = these, those
celui-ci, celle-ci = this one
celui-là, celle-là = that one
ceux-ci, celles-ci = these
ceux-là, celles-là = those
sur = on
sous = under
dans = in
entre = between
contre = against
au-dessus = above
au-dessous = below
avec = with
par = by
à = at
en = in, made of
où = where
corps simple = element
corps composé = compound
rond = round
plissé = folded
flacon = bottle
ballon = flask
plat = flat
tube à essai = test tube
acide étendu = dilute acid

L'acide chlorhydrique attaque le fer; il n'a pas d'action *sur* l'or. Dans *ce* flacon il y a de l'acide sulfurique concentré, *sur cette* table il y a du papier à filtrer; les acides sont *sous* cette table, la table des poids atomiques est *contre* le mur, l'alcool ordinaire bout (boils) *entre* 70° et 80°; l'eau salée bout *au-dessus* de 100°; l'eau bout *au-dessous* de 100° sous une pression réduite (reduced pressure) Y a-t-il du papier sur la table? Oui, il y a un paquet de papier à filtrer *rond*, et un paquet de papier à filtrer *plissé* Où trouve-t-on le pétrole? On le trouve dans la terre. Y a-t-il du pétrole aux Etats-Unis?

Le fer est attaqué par l'air humide; le platine n'est pas attaqué par l'acide sulfurique. L'oxygène forme des oxydes avec le cuivre, le fer et le plomb L'or est inaltérable à l'air, et est stable en présence des acides ordinaires, mais il est dissous par l'eau

régale. L'eau régale se compose d'acide chlorhydrique et d'acide azotique.

Ce métal est pur; ces métaux sont purs; cette préparation est simple; ces préparations sont difficiles. Ce corps est un *corps simple;* celui-là est un *corps composé*, cette eau est distillée, cet acide est concentré; celui-là est *étendu* L'odeur du chloroforme est agréable; celle du sulfure de carbone est désagréable. Ce *flacon* est en verre d'Iéna; celui-là est en verre de Bohême. Ce *ballon* a un tube latéral (side-neck) et a un fond rond; ceux-ci ont un fond *plat* Ces *tubes à essai* ont un diamètre de 2 centimètres; ceux-là ont un diamètre de 2 centimètres et demi. Il y de l'azote dans l'air; on trouve du soufre en Sicile Le courant électrique décompose l'eau en oxygène et en hydrogène. On décompose le sulfure de fer avec un acide On fait l'éther avec de l'alcool et de l'acide sulfurique.

(REVIEW OF ADJECTIVES, THEIR POSITION AND AGREEMENT )

| | |
|---|---|
| incolore = colorless | froid = cold |
| inodore = odorless | chaud = warm |
| léger, légère = light | rouge = red |
| lourd = heavy | blanc, blanche = white |
| dur = hard | noir = black |
| mou, molle = soft | vert = green |
| bon, bonne = good | jaune = yellow |
| mauvais = bad | jaunâtre = yellowish |
| rond = round | dextrogyre = dextro rotatory |
| plat = flat | gris = gray |
| beau, belle = beautiful, fine | brun = brown |
| sec, sèche = dry | rougeâtre = reddish |
| doux, douce = sweet | verdâtre = greenish |
| aigre = sour | huileux, huileuse = oily |
| amer = bitter | gras, grasse = fat, fatty |
| droit = straight | fuligineux = smoky |
| courbé = bent | goudronneux = tarry |

L'azote est un gaz *incolore* et *inodore*, l'hydrogène est un gaz *léger*, le chlore est *lourd*, le chlore est *jaune verdâtre* et a une odeur suffocante; le brome est un liquide *rouge brun;* l'argent est un métal *blanc*, le cuivre est rouge, l'or est jaune; une solution aqueuse de permanganate de potassium est *violette*; le char-

bon est *noir;* la chaux et la magnésie sont *blanches* La vapeur de l'iode a une belle couleur violette

L'or pur est *mou* et très malléable; le fer est *dur*; le cuivre est ductile L'air est un mélange gazeux; l'eau est un composé liquide, le sucre est un corps solide; il a un goût agréable, il est *doux*

Il y a deux sortes de phosphore: le phosphore rouge et le phosphore jaune. Le cuivre forme deux oxydes· l'oxyde cuivreux rouge ($Cu_2O$) et l'oxyde cuivrique noir ($CuO$). A la température ordinaire, le soufre a une couleur jaune citron, à 110° c'est un liquide transparent, jaune et fluide, à 220° il devient brun et épais Le soufre est mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité. Il est insoluble dans l'eau; il est soluble dans le sulfure de carbone ($CS_2$) La paraffine est blanche, cristallisable, demi-transparente Elle fond (melts) vers 40°.

Ce tube de verre est *droit,* celui-ci est *courbé.* Cette eau est *froide,* celle-ci est *chaude* Le glucose se trouve dans le commerce en masses *molles,* amorphes, d'un blanc légèrement *jaunâtre,* inaltérable à l'air. Il est soluble dans l'eau et l'alcool étendu, mais peu soluble dans l'alcool absolu L'acide tartrique est un corps solide, cristallisé en prismes clinorhombiques présentant des facettes hémiédriques. Sa solution est *dextrogyre,* elle a une saveur acide agréable Le nitrobenzène est un liquide jaunâtre, d'une odeur d'essence d'amandes amères Le naphtalène se présente en lamelles cristallines incolores, d'une odeur *goudronneuse* Il brûle avec une flamme très *fuligineuse* Le phénol cristallise en aiguilles incolores, fusibles à 42° Il a une saveur brûlante. Le tanin pur est un corps pulvérulent, amorphe, d'un blanc jaunâtre, sans odeur, d'une saveur très astringente Une solution de tanin forme avec la peau fraîche une combinaison imputrescible Le tanin forme avec les sels ferriques un précipité noir. La nitroglycérine est un liquide *huileux,* jaunâtre, solidifiable vers 0° L'acide acétique est un acide de la série *grasse,* l'acide benzoïque appartient à la série aromatique

## EXERCISE 2*

### VOCABULARY

quel, quelle, quels, quelles = which
lequel, laquelle lesquels, lesquelles = which, which one, which ones
duquel, de laquelle = of which one, from which one
desquels, desquelles = of which ones, from which ones
auquel, à laquelle = to which one
auxquels, auxquelles = to which ones
qui? = who
que? = what
quand = when
comment = how
pourquoi = why, what for
combien de? = how much, many
quoi? = what
à quoi = of what
avec quoi = with what
en quoi = what is it made (
qui = which
que = which
dont = of which, with which
ce qui, ce que = which, which, what

*Qui* enseigne la chimie? Qui a découvert l'oxygène? C Priestley qui a découvert l'oxygène; c'est Lavoisier qui a ét ses propriétés *Que* faites-vous? Je prépare du sulfure d'hy gène *Comment* prépare-t-on le chlore industriellement? A *quoi* fait-on l'acide chlorhydrique? A quoi sert (servir = to used as or for) le chlore? De quoi se sert-on (se servir de = use) pour préparer l'éther? Quand le radium a-t-il été déc vert? Par qui? De quelle couleur est le brome? Quel le symbole du plomb? Quels éléments constituent l'acétylè De quoi se compose l'acide azotique? *Combien d'*oxydes fo le fer? *En quoi* est ce creuset? Il est en platine Quelle es formule de l'acide acétique? Comment prépare-t-on l'anil De quels éléments se compose l'aniline? Quels sont les hy carbures qu'on extrait du goudron? A quoi sert le toluè Comment prépare-t-on l'acide benzoique industriellement? C bien de zinc faut-il (is it necessary or required) pour prép 10 litres d'hydrogène? *Où* trouve-t-on le pétrole? Comm purifie-t-on le pétrole? De quel minerai extrait-on l'éta Comment le cuivre est-il précipité de ses solutions?

De quelle couleur est l'oxyde cuivreux? Quel métal est liqu

* Review of the interrogative adjectives and pronouns, and of the r tive pronouns

à la température ordinaire? Quelle série d'hydrocarbures étudions-nous maintenant? *Lequel* des métaux ordinaires est le plus important? *A quel* élément s'unit l'hydrogène pour former l'eau? *Auquel* est-il combiné dans l'acide chlorhydrique? *A quels* composés donne-t-on le nom d'acides? *Auxquels* donne-t-on le nom de sels?

L'élément *que* nous étudions maintenant est le carbone L'aluminium est un élément *qui* est très répandu. L'acide *dont* on se sert pour dissoudre le fer est l'acide chlorhydrique Le gaz qui est formé quand on chauffe le chlorure de sodium avec de l'acide sulfurique et du bioxyde de manganèse est le chlore; le chlore est un gaz qui est jaune verdâtre et a une odeur suffocante.

A quels corps donne-t-on le nom de bases? Auxquels donne-t-on le nom d'acides? De quels minerais extrait-on le plomb? *Desquels* extrait-on le zinc? 400° est la température à laquelle ce corps se dissocie D'où recevez-vous ces produits chimiques?

Les bouchons qui sont dans ce tiroir sont en caoutchouc; les bouchons que vous avez sont en liège. Pouvez-vous voir (can you see) *ce que* je fais? Pouvez-vous voir ce qu'il y a sur le tableau? Je vous dis (I tell you) *ce qui* est important On peut savoir ce qui est dans un minerai en faisant (by making) une analyse qualitative

(REVIEW OF THE POSSESSIVE ADJECTIVES AND PRONOUNS, AND OF THE INDEFINITE ADJECTIVES AND PRONOUNS )

mon, ma, mes = my
son, sa, ses = his, her
votre, vos = your
notre, nos = our
leur, leurs = their
quelque = some
quelques-uns = some
tout, toute, tous, toutes = all
même = same
chaque = each
aucun = no, none
le mien, la mienne, les miens, les miennes = mine
le sien, la sienne, les siens, les siennes = his, hers
le vôtre, la vôtre, les vôtres = yours
le nôtre, la nôtre, les nôtres = ours
le leur, la leur, les leurs = theirs
l'un, l'une = one
les uns, les unes = some
l'autre = the other
les autres = the others

Dans le tiroir de *votre* table de travail il y a des ballons en

verre, et une douzaine de tubes à essais. *Mon* ballon a une capacité de 1 litre; *le vôtre* a une capacité de 500 centimètres cubes *Notre* professeur de chimie est dans la salle de lecture. *Nos* cours de chimie ont lieu (take place) trois fois par semaine Vous avez deux burettes pour vos analyses volumétriques, une de *vos* burettes est à pince (with pinchcock), l'autre est à robinet (with glass stopcock.) Ces burettes-là ont une bande en émail pour faciliter la lecture du ménisque. *Leur* analyse est correcte; *la mienne* n'est pas acceptable. Un de *mes* amis étudie la chimie à l'université de Paris Nous étudions les hydrocarbures, leur préparation, *leurs* propriétés physiques et chimiques.

L'étain forme *quelques* sels importants. *Tous* les sels de sodium sont solubles dans l'eau *Toutes* les bases peuvent s'unir aux acides pour donner des sels *Tout* l'hydrogène de l'acide sulfurique peut être remplacé par un métal, mais tout l'hydrogène des acides organiques n'est pas remplaçable par un métal L'alcool éthylique et l'éther méthylique ont la *même* formule brute, mais leurs formules de constitution sont différentes Il y a trois acides lactiques l'un est dextrogyre, l'autre levogyre et le troisième est inactif Tous les hydrocarbures de la série grasse n'ont pas les mêmes propriétés physiques *quelques* hydrocarbures sont gazeux à la température ordinaire, *quelques-uns* sont liquides, et d'autres sont solides, tous ont les mêmes propriétés chimiques *aucun* ne forme de produits d'addition, mais tous peuvent former des produits de substitution avec le chlore et le brome

beaucoup de = much, many
peu de = little, few
plusieurs = several
plus (lourd) que = heavier than
moins (lourd) que = not so heavy
aussi (lourd) que = as heavy as
plus de = more
moins de = less, fewer
autant de = as much as, as many
le plus = the most
le moins = the least
plus = the more, more

L'hydrogène est un gaz *plus* léger *que* l'oxygène; c'est le gaz *le plus* léger. Il y a quatre fois *plus d'*azote que d'oxygène dans l'air L'acide sulfurique concentré est plus lourd que l'eau. L'ammoniaque concentré a une densité *moins* grande que l'ammoniaque étendu. Le platine est aussi cher (expensive) que l'or;

il est *beaucoup* plus employé dans les laboratoires que l'or; l'or est plus malléable que le platine. Le fer est plus répandu que le cuivre La tension de vapeur d'un liquide n'est pas la même à différentes températures; *plus* la température est élevée, *plus* la tension augmente

Il y a beaucoup de mines de fer et de cuivre en Amérique Il y a plusieurs dépôts de pétrole aux Etats-Unis L'Angleterre produit beaucoup de charbon. La France produit moins de charbon que les Etats-Unis. Le manganèse et l'oxygène forment *plusieurs* composés, ou oxydes; le bioxyde de manganèse est le plus important. Il sert à préparer l'oxygène; quand on chauffe le bioxyde de manganèse, il cède une partie de son oxygène, mais pas tout Le carbone et l'hydrogène forment beaucoup de composés auxquels on donne le nom d'hydrocarbures; plus de cent hydrocarbures sont connus, la proportion de carbone et d'hydrogène varie avec les différentes séries, l'éthane, l'éthylène et l'acétylène ont tous trois le même nombre d'atomes de carbone, mais l'éthane a six atomes d'hydrogène, l'éthylène a moins d'hydrogène, seulement quatre atomes, mais il a plus d'hydrogène que l'acétylène qui a seulement deux atomes. L'acétylène est moins saturé que l'éthylène qui, à son tour, est moins saturé que l'éthane L'éthane est le plus saturé et l'acétylène est le moins saturé

Le problème que vous avez en analyse qualitative est plus difficile que le mien; celui que j'ai contient seulement quatre métaux, mais le vôtre contient au moins dix métaux et métalloides Le chlore forme plusieurs acides, dont le plus important est l'acide chlorhydrique, auquel on donne aussi le nom d'acide muriatique.

## EXERCISE 3.*

### VOCABULARY.

ne . . . pas = not
ne . . . que = only
ne . . . rien = nothing.
ne . . . personne = no one, nobody
ne . . . plus = no more, no longer
ne . . . jamais = never
ne . . . pas encore = not yet
quelque chose = something
quelqu'un = some one
toujours = always
quelquefois = sometime
souvent = often
rarement = seldom
seulement = only
encore = still, yet
déjà = already
très = very
presque = almost
facilement = easily
difficilement = with difficulty
depuis = since
trop = too, too much, too many
assez = enough
le, la = it, him, her
les = them
lui = to it, to him, to her
leur = to them
me = me, to me
vous = you, to you
nous = us, to us
en = some, some of it, some of them, from it, from there
y = there (for positions), from there

Le sucre se dissout *facilement* dans l'eau, le carbonate de calcium *n*'est *pas* soluble dans l'eau pure, l'acide chlorhydrique le décompose en acide carbonique et en chlorure de calcium Le soufre a plusieurs valences, l'hydrogène n'a qu'une valence. Il y a deux chlorures de cuivre, il n'y a qu'un chlorure d'argent Il y a *quelque chose* dans ce flacon, il *n*'y a *rien* dans celui-là *Quelqu'un* prépare de l'aniline dans ce laboratoire; *personne* ne fabrique d'indigo dans ce pays Il n'y a personne dans le laboratoire maintenant Y a-t-il encore de l'éther dans ce flacon? Oui, il y a encore de l'éther, oui, il y en a encore Non, il *n*'y a *plus* d'éther, non, il n'y en a plus. Si la température monte au-dessus de 100°, la réaction continue encore, si elle tombe au-dessous de 50°, elle ne continue plus, elle s'arrête.

L'acide sulfurique ordinaire *n*'est *jamais* pur; il contient *toujours* du sulfate de plomb. Un composé organique pur fond toujours à la même température, et un liquide pur bout toujours

* Review of adverbs and pronoun objects

à la même température. Votre analyse est-elle *déjà* finie? Oui, elle est déjà finie; non, elle *n'*est *pas encore* finie; elle est *presque* finie. On rencontre quelquefois le cuivre à l'état natif, mais *rarement*. Le fer se trouve presque toujours sous la forme d'oxydes, *quelquefois* on le rencontre sous la forme de carbonate. On le trouve à l'état métallique *seulement* dans les pierres météoriques. Le radium est un métal *très* rare et très difficile à extraire de ses minerais; il a une très grande valeur, à cause de ses applications en médecine. Ce minerai de zinc contient *trop* d'étain, celui-ci n'est pas *assez* riche pour l'extraire.

On prépare l'hydrogène en décomposant l'eau par le courant électrique, on *le* prépare aussi par l'action des acides sur les métaux. L'alcool éthylique est un composé organique qui a la formule $C_2H_5OH$; on le prépare par la fermentation des matières sucrées. Étudiez-vous la chimie? Oui, je l'étudie depuis deux ans. Comment sait-on si une solution est acide ou alkaline? On le sait en touchant la solution avec un morceau de papier de tournesol. L'acide sulfurique étendu attaque-t-il facilement le fer et le zinc? Oui, il *les* attaque très facilement, et les transforme en sulfates. L'acide concentré attaque aussi le cuivre quand on le chauffe; il le transforme en sulfate de cuivre, mais dans ce cas il n'y a pas d'hydrogène qui se dégage, mais de l'anhydride sulfureux. Comment appelle-t-on le composé $CS_2$? On *lui* donne le nom de sulfure de carbone. Quelle est l'action de l'oxygène sur l'alcool méthylique? Il lui enlève de l'hydrogène et le transforme en aldéhyde formique, puis en acide formique. Comment appelle-t-on les corps formés par l'action des métaux sur les acides? On les appelle sels, on *leur* donne le nom de sels. Pouvez-vous *me* donner la constitution de l'acétylène? Non, je ne peux pas vous la donner, mais je peux vous donner sa formule empirique. Avez-vous du papier à filtrer à votre table? Oui, j'*en* ai, non, je n'en ai pas. Y a-t-il de l'eau dans cette bouteille? Oui, il y en a; non, il n'y en a pas. Avons-nous des fabriques d'acide sulfurique dans ce pays? Oui, nous en avons beaucoup. Fabrique-t-on de l'aniline en Amérique? Oui, on en fabrique un peu maintenant.

Il y a des oxydes qui sont très stables, il y en a d'autres qui se décomposent très facilement par la chaleur Le fer forme des oxydes à basse température; l'or n'en forme pas. Préparez-vous des composés organiques au laboratoire? Oui, nous en préparons au moins une trentaine Avez-vous des bouchons de liège dans votre tiroir? Oui, nous en avons quelques-uns; nous n'en avons pas un seul, seulement des bouchons de caoutchouc

Où sont mes allumettes? Elles sont sur la table Mes livres sont-ils dans ce laboratoire? Non, ils n'*y* sont pas. Où est votre thermomètre? Il est devant vous. Le mien est-il sous la hotte (hood)? Oui, il y est, non, il n'y est pas Notre professeur va-t-il à New-York? Oui, il y va, non, il n'y va pas, il en vient Depuis quand étudiez-vous la chimie? Je l'étudie depuis dix ans. X

avoir = to have
avoir lieu = to take place
avoir besoin de = to need
être = to be
oxyder = to oxidize
calciner = to calcine
chauffer = to heat
s'échauffer = to become heated
commencer = to begin
durer = to last
peser = to weigh
mesurer = to measure
broyer = to crush
sécher = to dry
demander = to ask
oublier = to forget
agiter = to shake, to stir
amener = to bring
fabriquer = to manufacture
brûler = to burn
se brûler = to burn one's self
laisser tomber = to let drop
trouver = to find
se trouver = to be, to be found
se rencontrer = to be met
assister à = to be present at
aller = to go
venir = to come
venir de = to have just
finir = to finish, to end
pouvoir = to be able
vouloir = to want
devoir = must
savoir = to know
faire = to do, to make
dissoudre = to dissolve
extraire = to extract
conduire = to conduct, to lead

J'ai six cours de chimie par semaine Nous avons eu de la difficulté à faire dissoudre ce sel, nous avons été obligés de chauffer le solvant Aurez-vous quelque chose à faire cet après-midi? Oui, j'aurai trois heures de travail au laboratoire, mais demain je n'aurai rien à faire après trois heures

* Review of transitive, intransitive and reflexive verbs in the present, past and future tenses

Notre cours de chimie a lieu trois fois par semaine, le lundi, le mercredi et le vendredi. La conférence du professeur X. a eu lieu hier après-midi, sa prochaine conférence aura lieu la semaine prochaine.

Vous n'avez pas besoin de purifier votre nitrobenzène une seconde fois pour préparer de l'aniline. Nous aurons besoin d'un dictionnaire pour traduire cet article.

Ce produit est très difficile à purifier, il a déjà été cristallisé trois fois, mais il n'est pas encore tout à fait pur. Quand il sera sec je déterminerai son point de fusion.

L'oxygène oxyde les métaux, l'hydrogène réduit les oxydes. Ce métal est oxydé. Pour produire de l'acide benzoique, nous avons oxydé le toluène avec de l'acide chromique. Le toluène s'oxydera plus facilement si on l'attaque d'abord par le chlore. Les matières grasses en s'oxydant à l'air produisent de la chaleur et peuvent même s'enflammer spontanément. On prépare la chaux vive en calcinant le carbonate de calcium. Si on verse de l'acide sulfurique concentré dans de l'eau, le mélange s'échauffe, et peut même bouillir. Avez-vous chauffé cette solution avant de la filtrer? Pour distiller l'éther on ne chauffe jamais à flamme nue, mais au bain-marie.

Notre cours de chimie commence à onze heures et finit à midi. Nous avons commencé l'étude des métaux, demain, nous commencerons l'étude de la métallurgie du fer. L'étude du fer durera pendant une semaine.

Combien pèse ce creuset vide? Il pèse 12 grammes et demi. Combien de fois l'avez-vous pesé? Je l'ai déjà pesé trois fois et je le pèserai encore une autre fois aussitôt qu'il sera refroidi.

Pour les analyses volumétriques il faut mesurer les liquides très exactement, avec des pipettes ou des burettes. Pour analyser un minerai, il faut d'abord le broyer et le pulvériser avant de pouvoir le dissoudre. Ce précipité est sec; je l'ai séché à l'étuve pendant deux heures.

Cette réaction est très simple, mais elle demande beaucoup de temps, au moins dix heures, je l'ai commencée à huit heures et elle ne sera pas terminée avant six heures ce soir. Que me

demandez-vous? Je vous demande si vous pouvez me prêter votre thermomètre, le mien est cassé A qui avez-vous demandé un thermomètre? J'en ai demandé un à mon voisin Nous demanderons à notre professeur de nous permettre d'aller au laboratoire de bonne heure.

N'oubliez pas d'agiter le ballon qui contient le mélange d'acides nitrique et sulfurique pendant que vous ajoutez le benzène. Si vous ne l'agitez pas suffisamment, le rendement (yield) sera médiocre

On amène la vapeur d'eau par ce tube J'ai amené lentement la solution au point d'ébullition

On commence à fabriquer les matières colorantes en grand (on the large scale) aux Etats-Unis, et dans peu de temps on fabriquera toutes les couleurs dont on a besoin ici.

Le camphre brûle avec une flamme fuligineuse Dans l'essai de l'argent, après avoir filtré le chlorure, on le sépare du papier à filtrer et on brûle le papier séparément En brûlant, le papier réduit les quelques particules de chlorure d'argent qui y adhèrent J'ai brûlé le précipité Il s'est brûlé en allumant son brûleur de Bunsen Que produit l'hydrogène en brûlant? Pour préparer le chlore on laisse tomber de l'acide sufurique sur un mélange de sel marin et de pyrolusite qu'on chauffe légèrement On trouve le fer en combinaison avec l'oxygène ou le soufre L'or ne se trouve jamais en combinaison; il se recontre toujours à l'état libre

Si un gaz est dans un espace clos, et si la température s'élève, la pression va en croissant Ces élèves vont à leur cours de chimie, ils viennent de leur cours de mathématique. Je suis allé à Chicago pour assiter à une réunion qui a eu lieu la semaine dernière Il ira à New-York pour assister à une réunion qui aura lieu en Septembre En allant de Chicago à New-York, on passe les chutes du Niagara qu'on utilise comme force motrice dans plusieurs industries chimiques. Je viens du laboratoire où j'ai travaillé toute la journée. Je viens de terminer la préparation du phénol En revenant de New-York vousarrêterez-vous pour visiter les fabriques de soude par le procédé Solvay?

Votre analyse est-elle finie? Non, je ne la finirai pas avant cinq heures. Il a fini la lecture du livre que vous lui avez prêté. Pouvez-vous me donner la formule de l'acide picrique? Non, je ne peux pas vous la donner. Comment peut-on déterminer la composition d'un minerai? En en faisant l'analyse Il ne pourra pas passer ses examens de chimie minérale; il sera obligé de répéter ce cours l'année prochaine.

Si on veut accélérer la réaction, on peut élever la température. Il n'a pas voulu me dire comment il prépare ce composé Ils ne voudront pas venir si vous n'êtes pas ici. J'ai dû m'absenter de l'université pendant quelques jours pour aller à une réunion de la société de chimie. Il devra s'absenter pendant une semaine le mois prochain.

Savez-vous s'il y a quelqu'un au laboratoire? Ils n'ont pas su répondre aux questions du professeur Vous ne saurez pas vos leçons si vous ne les étudiez pas

Que faites vous? Je suis en train de peser (in the act of weighing) un creuset Qu'avez-vous fait? J'ai pesé mon creuset Cet élève a fait une erreur, il a oublié de laver son précipité avant de le calciner. Nous ferons deux analyses de ce minerai de fer, une analyse pondérale et une analyse volumétrique On fait évaporer un liquide en le chauffant

Le sulfate de soude se dissout facilement dans l'eau; l'eau dissout le sucre, mais ne dissout pas la paraffine J'ai dissous l'iode dans de l'alcool pour faire de la teinture d'iode Ce sel ne se dissoudra pas dans l'eau sans la chauffer. On extrait l'aniline avec de l'éther; l'éther a extrait toute l'aniline, et en évaporant l'éther au bain-marie l'aniline restera dans le ballon à distiller. Si l'aniline est en combinaison avec un acide, l'éther ne la dissoudra pas; il faudra d'abord rendre la solution alkaline pour libérer la base.

Les métaux sont bons conducteurs de la chaleur; ils conduisent bien l'électricité aussi. J'ai conduit de la vapeur d'eau dans ce ballon et la vapeur a entraîné un produit qui s'est solidifié en refroidissant.

## EXERCISE 4 *

### VOCABULARY

il faut = it is necessary
de peur que = for fear
afin que = so that
pour que = in order that
quoique = although
quel que, quoi que = whatever
si . . que = however, no matter
à moins que = unless
en attendant que = while
pourvu que = provided
peu importe que = it matters little, no matter
le seul = the only
le premier = the first

Quand nous étions à Londres, nous allions tous les jours visiter les laboratoires de l'Institut Impérial; les laboratoires venaient d'être installés, mais il y avait déjà beaucoup d'élèves dans les laboratoires de chimie. Nous avons aussi fait une visite à Oxford, et si nous avions eu le temps, nous serions allés à Cambridge. Nous aurions aussi aimé aller à Paris pour visiter le laboratoire de Madame Curie, mais nous avons été obligés de revenir en Amérique peu après.

Si cette substance était pure, elle fondrait à 82°; si ce liquide avait été pur, il aurait bouilli à 150°. Il ne faut jamais (one must never) peser un objet quand il est encore chaud, si on le pesait alors, il paraîtrait plus léger qu'il ne l'est réellement. Combien pesait ce verre de montre (watch glass) la première fois que vous l'avez pesé? Il pesait 3,2500 grammes, mais depuis il a perdu 0,5 milligrammes.

Est-ce que cette solution est bien claire? Si elle n'était pas claire il faudrait la clarifier. L'iodoforme que vous avez préparé n'est pas très pur; son point de fusion est un peu trop bas, si vous l'aviez cristallisé une deuxième fois il serait plus pur. Les solutions de nitrate d'argent noircissent à la lumière. Si une solution de nitrate d'argent restait exposée à la lumière elle se décomposerait bien vite. L'air est un mélange gazeux, si l'air était un composé chimique, sa composition serait toujours la même; mais elle varie avec l'altitude.

L'hydrogène et le chlore ont une très grande affinité l'un pour l'autre, mais quand les deux gaz sont absolument secs, ils ne se

* Review of the imperfect, preterit, pluperfect, conditional and subjunctive tenses.

combinent pas Si l'éther était absolument sec, le sodium n'aurait aucune action dessus Le méthane est un hydrocarbure qui brûle à l'air avec une flamme d'un blanc jaunâtre peu éclairante, en donnant de la vapeur d'eau et de l'anhydride carbonique. Si, à deux volumes de méthane, vous ajoutiez quatre volumes d'oxygène et que vous approchiez une flamme il se produirait une détonation assez violente pour briser le flacon Si l'air ou l'oxygène n'était pas en quantité suffisante, la combustion serait incomplète; l'hydrogène brûlerait d'abord, il se formerait un peu d'acétylène et il y aurait dépôt de charbon.

En 1831, Phillips entreprit le premier la fabrication industrielle de l'anhydride sulfurique en faisant passer sur de la mousse de platine légèrement chauffée de l'air et du gaz sulfureux provenant du grillage des pyrites; mais son entreprise n'eut pas de succès, car les impuretés des gaz employés mettaient rapidement cette mousse de platine hors d'usage En 1838, Kuhlmann entreprit la même fabrication et l'abandonna par suite des mêmes inconvénients Mais en 1875 Winckler réalisa avec succès cette préparation industrielle. Il décomposait par la chaleur l'acide sulfurique ordinaire comme l'avaient fait H Sainte-Claire Deville et Debray pour obtenir industriellement l'oxygène, puis, après avoir absorbé la vapeur d'eau par l'acide sulfurique concentré, il faisait passer le mélange sec d'oxygène et de gaz sulfureux purs sur de l'amiante platinée (platinized asbestos) chauffée au rouge sombre.

Si l'on chauffe du phénol avec de l'acide nitrique dilué, il se forme de l'ortho et du para nitrophénol, si l'acide nitrique était concentré, il se formerait de l'acide picrique L'emploi de l'acide picrique et de la nitroglycérine comme explosifs était inconnu il y a soixante ans Si vous laissiez de l'éther dans un flacon ouvert, il se vaporiserait en très peu de temps, si le flacon était fermé les vapeurs de l'éther ne pourraient pas s'échapper; si le flacon avait été bien bouché, ce liquide n'aurait pas pu s'évaporer. Vous devriez (should) agiter ce flacon pendant la réaction Vous auriez dû (you should have) laver ce gaz en le faisant passer dans de l'eau et ensuite dans de l'acide sulfurique

*Il faut* que la solution d'azotate d'argent soit acide avant de précipiter l'argent avec de l'acide chlorhydrique. Il faut que

vous agitiez constamment le flacon contenant l'acide nitrique et que vous refroidissiez le contenu du ballon pendant que vous ajoutez le benzène Notre professeur veut que nous entrions les résultats de nos expériences dans un cahier spécial.

Je suis bien content que cette analyse soit correcte; elle était un peu difficile et très longue, je l'ai faite très soigneusement et je n'aurais pas aimé être obligé de la recommencer. Quand on expérimente avec des gaz sous pression, il est bon de mettre des lunettes pour se protéger les yeux, *de peur qu'*un accident n'arrive qui pourrait avoir des résultats très sérieux. Ce ballon est pourvu d'un réfrigérant ascendant (reflex condenser) *afin que* les vapeurs puissent se condenser et retourner dans le ballon Pour que cette substance ne puisse pas se décomposer, il faut remplacer l'air par un gaz inerte comme l'azote

Il faut que j'aille à New-York pour assister à une réunion Mon analyse de ce minerai n'est pas correcte, *quoique* j'aie pris beaucoup de précautions, j'ai dû faire une erreur dans mes calculs. Il faut que les gaz soient bien purs et soient séchés très soigneusement avant d'arriver sur le catalyseur; autrement la réaction s'arrête bientôt Il y a pour chaque gaz une température au-dessus de laquelle il est impossible de liquéfier ce gaz *quelle que* soit la pression appliquée au gaz Quelle que soit la quantité d'oxygène que l'on mette en présence d'un poids donné d'hydrogène, les deux corps se combinent toujours dans la proportion de 8 du premier pour un du second

*Si* exactes *que* soient les méthodes de l'analyse qualitative, elles ne sont pas toujours suffisantes pour déceler la présence d'un élément quand celui-ci est en très petite quantité. Il faut alors qu'on se serve de méthodes spéciales comme celles de la physico-chimie L'essai par voie sèche au moyen de la perle de borax (borax bead) révèle facilement la présence du nickel *á moins que* celui-ci soit accompagné de cobalt; dans ce cas la coloration bleue due au cobalt masque absolument la teinte propre au nickel.

On attend que la réaction assez vive se soit calmée avant de continuer l'addition du reste de l'acide *En attendant que* ce creuset se refroidisse avant de le peser, je vais filtrer ce précipité. Un des principes de la chimie sur le rapport de la chaleur et du

travail dans les réactions chimiques est, qu'entre un état initial et un état final donné, *peu importe* ce *qu'*aient été les intermédiaires, la quantité de chaleur produite ou absorbée est la même. Une solution de permanganate de potassium est stable *pourvu qu'*on la conserve dans des flacons fermés pour exclure les matières organiques.

Le mercure est *le seul* métal qui soit liquide à la température ordinaire Le cuivre est *le premier* métal que l'homme ait employé pour fabriquer ses instruments de guerre et ses outils tranchants, parce qu'on le trouvait en grandes masses à l'état natif et qu'on pouvait l'obtenir par le chauffage et le martelage

Le diamant est la variété de carbone la plus dure qu'on connaisse. Le méthane est l'hydrocarbure le plus simple qui existe et le seul qui ne contienne qu'un atome de carbone L'acide sulfurique est un acide très énergique, il en faut bien peu (very little is necessary) dans l'eau pour que la solution rougisse le tournesol Quand on distille un liquide comme le bromure d'éthyle, il faut veiller à ce que (one must watch that) le réfrigérant soit absolument sec et à ce que le récipient soit bien refroidi avec de la glace

## EXERCISE 5

### GÉNÉRALITÉS

rouille = rust
dégager = to evolve
propriété = property
éclat = lustre
mélange = mixture
donner naissance à = to give rise to
saveur piquante = sharp taste
teinture de tournesol = litmus
engendrer = to form
rougir = to turn red
bleuir = to turn blue
saveur salée = salty taste
méthode par les pesées = gravimetric method
ponce = pumice

La chimie comprend l'étude des corps simples, des corps composés qu'ils peuvent donner et les lois générales des combinaisons.

Les corps composés renferment deux ou plusieurs substances dont l'ensemble a le même poids que la matière primitive

On montre qu'un corps composé renferme plusieurs corps simples en provoquant leur séparation; *la rouille* de mercure chauffée dépose des gouttelettes brillantes de mercure et elle *dégage* du gaz oxygène

On connaît aujourd'hui environ 70 corps simples dont un grand nombre sont sans emplois On n'a pas suivi une règle unique pour leur donner des noms; pour quelques-uns cependant le nom rappelle une *propriété*

Les corps simples sont classés en deux groupes: les métaux qui conduisent bien la chaleur et l'électricité et qui peuvent avoir un vif *éclat,* une surface brillante, quand ils ont été coupés ou limés; les métalloides qui sont sans éclat et qui ne conduisent ni la chaleur ni l'électricité Ces derniers donnent par leur union avec l'oxygène des acides, tandis que les premiers donnent des oxydes ou bases

L'association des corps simples peut se faire de deux manières: par *mélange* et par combinaison

Le mélange est une réunion où les corps gardent leurs propriétés et peuvent être facilement séparés les uns des autres

La combinaison est une union intime qui *donne naissance à* un nouveau corps homogène, différent par ses propriétés de ceux qui l'ont formé et où ceux-ci ne peuvent plus facilement être retrouvés avec l'aspect qu'ils avaient d'abord De plus, la combinaison est accompagnée habituellement d'un dégagement de chaleur

Le corps composé formé de deux corps simples (métalloide et métal) a reçu un nom qui rapelle sa composition, le nom du métalloide est terminé en *ure* et suivi du nom du métal Dans le cas de deux métalloides, on suit une règle analogue. Par exemple = le chlorure de sodium.

La plupart des combinaisons dégagent de la chaleur, elles sont dites exothermiques ou directes, celles qui, au contraire, en absorbent pour s'effectuer sont dites endothermiques ou indirectes.

La notion d'acide est venue de la *saveur piquante* de certaines substances, comme le vinaigre, le jus de citron, le jus d'oseille. On a reconnu ensuite que ces corps changent en rouge quelques couleurs bleues végétales, comme la *teinture de tournesol.* Ce

changement de coloration a servi dans les débuts de distinguer les acides. On a reconnu que la plupart de en brûlant à l'air ou en se combinant à l'oxygène, *gendrer* des acides. Et la même terminaison *ique* a aussi donnée aux acides végétaux; le vinaigre, le jus de citron, le jus d'oseille ont donné l'acide acétique, l'acide citrique et l'acide oxalique.

Pour donner une définition générale des acides, il faut invoquer une propriété chimique qui convienne à tous, et on la trouve dans les combinaisons qu'ils peuvent produire. On définit donc les acides des corps qui échangent de l'hydrogène contre un métal; et on ajoute qu'ils *rougissent* la teinture bleu du tournesol et que la plupart sont des combinaisons des métalloides avec l'oxygène.

Presque tous les métaux changent à l'air et se couvrent d'une couche, crasse de plomb ou rouille du fer, qui est la combinaison du métal avec l'oxygène Quand ces corps sont solubles dans l'eau, leur solution a une saveur caustique fort différente de celle des acides et elle ramène au bleu la teinture du tournesol rougie

On a d'abord appelé bases les corps qui ont cette double propriété, et le nom a été étendu à tous les composés des métaux avec l'oxygène. On appelle donc bases les composés ordinairement métalliques qui peuvent se combiner à un acide, et on ajoute que beaucoup ont une saveur caustique et *bleuissent* le tournesol rougi

Les corps neutres sont ceux qui n'ont d'action ni sur le tournesol rouge, ni sur le tournesol bleu; ils ne ressemblent ni aux acides, ni aux bases L'eau en est un exemple

L'expression du sel n'éveille dans le langage vulgaire que l'idée du sel marin avec sa saveur particulière Dans le langage chimique on appelle sels des corps très divers qui n'ont pas forcément une *saveur salée* et dont la plupart sont produits par la combinaison d'un acide avec une base

Que l'on prenne la potasse, base très caustique, avec l'acide sulfurique très fort comme acide et qu'on les mêle en proportion convenable, les deux corps perdent chacun les propriétés qu'ils avaient, le composé formé peut être obtenu solide; il est entière-

ment différent et de la base et de l'acide, c'est un sel, le sulfate de potasse

Il en serait de même avec l'acide azotique et l'ammoniaque, avec le vinaigre et oxyde de plomb

Et pour donner aux différents sels des noms qui rapellent l'acide et la base, on change en *ate* la terminaison *ique* de l'acide et on fait suivre du nom de la base On a ainsi avec l'acide carbonique les carbonates, les azotates avec l'acide azotique, les phosphates et les sulfates avec les acides phosphorique et sulfurique

D'une façon générale, on définit les sels des composés dérivés des acides où l'hydrogène a été remplacé par un métal, et on retient que la plupart proviennent de l'action d'un acide sur une base

L'air atmosphérique est incolore sous une faible épaisseur et bleu en grandes masses Il pèse par litre 1 gramme 293 à la pression ordinaire et à la température 0°

Les corps combustibles brûlent quelque temps dans un air confiné, puis ils s'éteignent et l'air a quelque peu diminué de volume

On montre facilement que l'air est formé de deux gaz principaux, l'oxygène et l'azote· l'expérience du phosphore brûlant dans un espace d'air limité le prouve L'air n'est donc pas un élément comme le croyaient les anciens. Outre les deux gaz précédents, l'air renferme encore de la vapeur d'eau, de l'acide carbonique et des poussières minérales et organiques dont une partie peut contenir des microbes, organismes microscopiques qui sont les agents des putréfactions et qui sont pernicieux pour la santé de l'homme.

Montrer l'existence de tous ces corps, c'est faire l'analyse qualitative de l'air, chercher leurs proportions, c'est faire l'analyse quantitative

Dans cette dernière, on recherche d'abord la quantité d'azote et d'oxygène contenue dans un volume déterminé d'air, on absorbe l'oxygène et on mesure l'azote restant

On peut employer le phosphore, introduit dans un volume donné d'air, il absorbe lentement l'oxygène, et quand tout ce der-

nier gaz est disparu, et que le phosphore est retiré, on mesure le volume restant qui est de l'azote

On trouve: pour 100 litres d'air 21 litres d'oxygène et 79 litres d'azote.

On peut aussi employer une dissolution de potasse et une d'acide pyrogallique; leur mélange absorbe l'oxygène et laisse l'azote.

La *méthode par les pesées* est plus exacte et plus complète On fait passer de l'air d'abord dans des tubes à potasse où reste le gaz carbonique, dans les tubes à *ponce* où s'arrête la vapeur d'eau, sur du cuivre chauffé qui retient l'oxygène, on ne recueille enfin que l'azote

La composition de l'air atmosphérique est constante, n'importe où l'on en prenne: on y trouve toujours sur 100 litres, 79 litres d'azote et 21 d'oxygène, de quatre à dix millièmes de gaz carbonique et de vapeur d'eau

L'air est un mélange, on le forme en mêlant 4 volumes d'azote à un volume d'oxygène et il n'y a aucun dégagement de chaleur, comme il arriverait s'il y avait combinaison, en second lieu, les proportions des deux gaz ne sont pas dans un rapport simple, enfin quand l'air se dissout, c'est chacun de ces deux gaz avec son propre pouvoir de solubilité qui se dissout dans l'eau, et l'air dissous n'a plus la même constitution que l'air ordinaire, il renferme en effet 32 pour 100 d'oxygène

L'air, au point de vue chimique, a les propriétés de l'oxygène tempérées par la présence de l'azote, il sert à la respiration des animaux et des plantes; il produit l'oxydation des métaux

C'est Lavoisier qui a montré le premier, en 1774, et la composition de l'air, et son rôle véritable dans la combustion, dans l'oxydation des métaux et dans la respiration Dans sa célèbre expérience où il chauffait du mercure dans un espace d'air limité, il a fait voir que l'air perd un cinquième de son volume pour former la chaux de mercure ou ce qu'on appelle aujourd'hui l'oxyde de mercure, que le reste de l'air n'entretient ni la combustion, ni la vie, que l'oxyde de mercure chauffé rend l'oxygène pris à l'air pour sa formation Il a conclu que l'oxygène occupe le cinquième de l'air et en est la partie active dans les oxydations ou les combustions.

## EXERCISE 6.

### L'Oxygène et l'Hydrogène

par rapport à = compared with
peser = to weigh
dégagement = evolution
à bon marché = cheap
azote = nitrogen
fumier = stable manure
engrais = fertilizer
tube effilé = drawn out tube
cloche = bell jar
chalumeau = blowpipe
chaux = lime
aciduler = to acidify
flacon à deux tubulures = Woulff bottle with two necks
tube à entonnoir = funnel tube with thistle top

L'oxygène est un gaz incolore, très peu soluble dans l'eau, difficile à liquéfier, dont le poids est de 1 gr. 43 par litre. Sa densité *par rapport à* l'air est 1,1056 et par rapport à l'hydrogène 16, c'est-à-dire qu'à volume égal il *pèse* 16 fois plus que l'hydrogène.

Sa propriété chimique caractéristique, c'est de rallumer les corps qui ne brûlent presque plus et de faire brûler très vivement ceux qui brûlent déjà.

On fait brûler dans l'oxygène du charbon, du soufre ou du phosphore, puis du magnésium et du fer. Dans chacun de ces cas, il y a *dégagement* de chaleur et de lumière et formation de corps nouveaux différents de ceux qui les ont produits.

On brûle dans l'oxygène des métalloides, les produits formés sont des anhydrides quand ils sont secs, et quand ils sont humides des acides qui rougissent la teinture de tournesol, comme le fait le vinaigre.

Les combinaisons des métaux avec l'oxygène portent le nom d'oxydes ou de bases, elles ramènent au bleu le tournesol rougi par un acide

Pour donner à ces composés des noms qui rappellent leur composition on applique les deux règles suivantes:

Pour les anhydrides et les acides le nom est formé du nom du métalloïde terminé en *ique,* ou parfois en *eux*; le carbone et le phosphore donnent avec l'oxygène les anhydrides et les acides carbonique et phosphorique; le soufre donne l'anhydride et l'acide sulfureux.

Pour les bases, on fait suivre le mot oxyde du nom du métal: ainsi le fer donne l'oxyde de fer.

L'oxygène est l'élément essentiel de la respiration; c'est lui qui rend le sang rouge et qui provoque la combustion respiratoire dont la chaleur animale est la conséquence.

Pour préparer l'oxygène, on peut décomposer un oxyde par la chaleur, comme l'oxyde de mercure ou le bioxyde de manganèse Habituellement on décompose le chlorate de potasse, et on recueille le gaz sur la cuve à eau

Dans l'industrie, on a essayé d'enlever l'oxygène à l'air par différents procédés pour obtenir le gaz *à bon marché* et l'employer à produire des flammes très chaudes et à activer les foyers plus qu'on ne peut le faire avec l'air

La combustion est la combinaison d'un corps avec l'oxygène, ou plus généralement encore la combinaison de deux corps

Elle est vive quand elle est accompagnée d'un fort dégagement de chaleur et d'une production de lumière, comme la combustion du charbon, du soufre, du phosphore, du fer dans l'oxygène ou celle de la bougie, du bois, du gaz dans l'air

Le corps qui brûle porte le nom de combustible et l'oxygène est le comburant

La combustion est lente quand elle se fait sans production de lumière et sans dégagement apparent de chaleur Telle est la combustion du bois dans la terre humide, telle est la rouille du fer

La rouille du fer, qui se produit lentement à l'air humide, transforme peu à peu le fer en oxyde On n'y constate pas de chaleur parce que celle-ci, dégagée en petite quantité et peu à peu, se dissipe à mesure (accordingly)

On préserve le fer de l'oxydation en le recouvrant soit d'un autre métal que l'air n'oxyde pas, soit d'une couche d'un corps gras ou d'une peinture qui empêchent l'air d'attaquer la surface.

L'oxydation des métaux, lente à l'air ordinaire, rapide dans l'air chaud, plus rapide encore dans l'oxygène est donc une combustion

On retire ordinairement l'*azote* de l'air en absorbant l'oxygène soit par un morceau de phosphore allumé et brûlant dans un air

confiné, soit par le cuivre chauffé sur lequel on fait passer un courant d'air.

Le gaz azote est incolore, sans odeur, ni saveur. Il n'entretient pas la combustion, il ne peut pas servir à la respiration

L'azote de l'air sert aux plantes, et sous la forme de composés existants dans le *fumier* et les *engrais,* il est nécessaire à leur développement

Les composés azotés sont indispensables aux animaux et doivent entrer en notable partie dans l'alimentation.

L'hydrogène est un gaz incolore et inodore Il est très léger et pèse 14 fois moins que l'air; le poids du litre n'est que de 89 milligrammes On prouve facilement cette grande légèreté, notamment en gonflant d'hydrogène des bulles de savon qui s'élèvent comme de petits ballons.

L'hydrogène est très peu soluble dans l'eau On n'a pu le liquéfier que par l'action combinée d'un froid de 220° au-dessous de zéro et d'une pression de plus de 500 atmosphères

Il passe facilement au travers des corps poreux, même des métaux chauffés et des enveloppes organiques vernies dans lesquelles on le contient

C'est le seul gaz qui soit bon conducteur de la chaleur et de l'électricité, cette propriété le fait ranger parmi les métaux malgré son état de gaz, il leur ressemble d'ailleurs par presque tous ses caractères.

L'hydrogène est combustible et brûle à l'air Il se combine à l'oxygène pour engendrer de l'eau, voilà l'une de ses principales propriétés chimiques

On réalise la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène libre en la provoquant en un point du mélange des deux gaz par une flamme, ou une étincelle électrique · elle a lieu alors avec une forte détonation qui atteint son maximum quand les deux gaz sont mélangés dans la proportion de deux volumes d'hydrogène pour un d'oxygène

On fait combiner l'hydrogène avec l'oxygène de l'air en allumant un jet d'hydrogène qui sort dans l'air par un *tube effilé.* Sa flamme est petite et peu éclairante. Il y a production d'eau en

vapeur que l'on peut recueillir en la condensant sur les parois froides d'un grand verre ou d'une *cloche*

La chaleur dégagée est considérable. 1 gramme d'hydrogène en brûlant produit 34 calories

L'hydrogène peut enlever l'oxygène à certains oxydes, et laisser le métal en produisant de l'eau. On fait l'expérience sur l'oxyde de cuivre On dit que l'hydrogène est un réducteur, qu'il réduit l'oxyde; il serait plus exact de dire qu'il s'est formé de l'oxyde d'hydrogène ou eau aux dépens de l'oxyde métallique sur lequel on a opéré

Sa flamme est très chaude. Elle le devient plus encore quand on y insuffle de l'air ou de l'oxygène Dans ce dernier cas, on emploie le *chalumeau* à deux tubes concentriques où les deux gaz ne se mélangent qu'à l'extrémité, et on dispose avec cet appareil de la plus haute température que l'on sache produire

Quand on envoie le jet enflammé du chalumeau contre un morceau de *chaux,* celui-ci devient incandescent et produit la lumière Drummond dite encore lumière oxhydrique

On prépare l'hydrogène en attaquant du zinc par l'eau *acidulée* d'acide sulfurique, ou par de l'acide chlorhydrique On emploie d'ordinaire un *flacon à deux tubulures* avec un *tube à entonnoir,* ou encore un appareil continu formé de deux flacons réunis par la base, l'un contenant le zinc et l'autre l'acide

On se sert de l'hydrogène pour gonfler les ballons, pour alimenter le chalumeau oxhydrique et produire la lumière Drummond ou une flamme très chaude pour la fusion de certains métaux ou pour la soudure des lames de plomb, sans intermédiaire

## EXERCISE 7.

### Le Carbone, L'Anhydride Carbonique et L'Oxyde de Carbone

charbon = coal or charcoal
noir de fumée = lampblack
plombagine = graphite
charbon de bois = wood charcoal
houille or charbon de terre = coal
tourbe = peat
noir d'os or noir d'animal = bone black or animal charcoal
troubler = to cause a turbidity
four à chaux = lime kiln
tirage = draft
laveur = gas washing bottle

Les *charbons* sont des corps différents d'aspect presque toujours noirs, qui brûlent à l'air en produisant de l'anhydride carbonique Ce sont des variétés plus ou moins impures d'un corps simple, le carbone. On peut trouver le carbone sous trois états amorphe comme dans le *noir de fumée,* graphitoide comme dans la *plombagine* ou cristallisé comme dans le diamant On fait deux groupes de charbons: ceux que l'on trouve dans la terre et que l'on nomme charbons naturels, comme le diamant, le graphite et les charbons minéraux, ceux que l'on tire de la combustion incomplète des matières organiques, que l'on nomme charbons artificiels et dont les principaux sont le coke et le *charbon de bois.*

Le diamant est du carbone pur et cristallisé Il est très dur; on ne peut le tailler ou l'user qu'en le frottant avec sa poudre Lorsqu'il est taillé il renvoie la lumière par toutes ses facettes; il prend ainsi une grande valeur Chauffé, il se ramollit il prend de l'oxygéne de l'air et produit de l'anhydride carbonique

Le graphite, abondant en Sibérie, est noir, en lamelles brillantes, onctueux au toucher, tachant les doigts et le papier Il est peu combustible et bon conducteur de l'électricité Sous le nom de plombagine il sert surtout à lustrer la fonte et à faire l'âme des crayons

Les combustibles minéraux qui se trouvent dans la terre sont: l'anthracite, la houille, les lignites et la tourbe

L'anthracite est dur, riche en carbone, difficile à brûler, mais donnant beaucoup de chaleur quand on le brûle dans un fourneau à vent alimenté par un fort courant d'air.

La *houille* ou *charbon de terre* est le charbon minéral le plus employé Il y en a plusieurs variétés qui se distinguent d'après la manière dont elles se conduisent au feu. Elle sert comme combustible et aussi pour faire le gaz d'éclairage.

Les lignites gardent la forme des bois qui les ont produits par une combustion lente: ils brûlent avec une flamme fumeuse La *tourbe* se produit dans les marais desséchés; elle brûle avec une flamme très fumeuse

Les charbons artificiels sont le coke et le charbon de cornue, le charbon de bois, le noir de fumée et le noir animal

Le coke est le résidu que laisse la distillation de la houille en vases clos; c'est un charbon poreux, qui brûle sans fumée en produisant beaucoup de chaleur. On le prépare pour les besoins de l'industrie des métaux

Le charbon de cornue est très dur, difficilement combustible, bon conducteur d'électricité: il sert dans les piles électriques

Le charbon de bois provient de la combustion incomplète du bois Quand la combustion a lieu en vases clos, on recueille l'acide pyroligneux contenu dans la fumée et condensé par refroidissement

Le noir de fumée est un charbon très divisé en poussière noire très légère, obtenu par la combustion des matières résineuses qui donnent beaucoup de fumée. Il est la base de l'encre d'imprimerie

Le *noir d'os* ou *n'oir d'animal* est le résidu de la calcination des os en vases clos C'est un charbon très poreux qui possède à un haut degré la propriété d'absorber les couleurs On l'emploie à la décoloration des liquides sucrés dans la manufacture du sucre Quand il a servi quelque temps on lui rend ses propriétés en le calcinant .

Le charbon est un combustible, voilà sa principale propriété Il absorbe les gaz, surtout les gaz solubles, et cette propriété explique son usage comme désinfectant, dans les filtres à eau.

Le carbone se combine à l'oxygène pour donner l'anhydride carbonique; il peut réduire un certain nombre d'oxydes Il peut se combiner à l'hydrogène et au soufre à haute température.

Le carbone avec l'oxygène donne deux composés. l'anhydride

carbonique et l'oxyde de carbone Quand on brûle le charbon à l'air le premier gaz se produit; mais il s'en produit aussi un autre invisible, qui vient brûler avec une flamme bleue au-dessus du combustible; ce second gaz est l'oxyde de carbone

L'anhydride carbonique, incolore et inodore, a une saveur aigrelette quand il est dissout C'est un gaz lourd, soluble dans l'eau, qui a pu être liquéfié et même solidifié L'anhydride carbonique pèse environ 2 grammes par litre Les eaux gazeuses artificielles contiennent le gaz carbonique sous une pression de 6 à 8 atmosphères, elles l'abandonnent presque entièrement à l'air.

On liquéfie l'anhydride carbonique en le comprimant à 50 atmosphères. Quand on ouvre à l'air le récipient contenant l'anhydride liquide, la vaporisation rapide amène un très grand refroidissement, et si l'on fait dégager le gaz dans un vase spirale, le gaz se prend en une neige solide qui est très froide, et qui, mélangée d'éther, abaisse la température jusqu'à près de 100° au-dessous de zéro

L'anhydride n'entretient ni la combustion ni la vie Une bougie allumée s'y éteint, et l'air qui contiendrait 20% de gaz carbonique serait irrespirable, l'homme et les animaux y seraient asphyxiés

L'anhydride carbonique dissous prend les propriétés des acides, mais c'est un acide faible Combiné aux bases, il donne les sels appelés carbonates Il est absorbé complètement par la potasse avec laquelle il donne le carbonate de potasse Il *trouble* l'eau de chaux en produisant du carbonate de chaux qui se dépose

L'eau chargée d'anhydride carbonique peut dissoudre du carbonate de chaux et rester limpide Il y a des eaux naturelles qui contiennent du carbonate de chaux dissous à la faveur de l'anhydride carbonique Ces eaux, bien que limpides, laissent par évaporation lente à l'air un dépôt pierreux sur les vases ou autour des sources; par ébullition, elles se troublent et abandonnent en dépôt le carbonate de chaux qu'elles contenaient

L'anhydride carbonique est chassé des carbonates par les acides, même l'acide acétique, il se dégage avec effervescence, et cette réaction donne le moyen de le reconnaître et de distinguer les calcaires des autres pierres

En passant sur du charbon chauffé, l'anhydride carbonique perd de l'oxygène et se transforme en oxyde de carbone; c'est une réaction qui se passe dans les fours où l'on traite les minerais métalliques.

L'anhydride carbonique se produit dans les fermentations, dans toutes les combustions, dans la respiration de l'homme et des animaux La quantité n'en augmente pas dans l'air: les végétaux le détruisent; ils le décomposent sous l'influence de la lumière pour fixer le carbone dans leurs tissus. On peut obtenir l'anhydride carbonique en brûlant du charbon à l'air; mais il n'est pas pur On le recueille dans la décomposition des carbonates par la chaleur et il se dégage des *fours à chaux* où l'on chauffe le carbonate de chaux C'est surtout en attaquant le marbre par un acide qu'on le prépare

L'oxyde de carbone que le charbon donne en brûlant à l'air en même temps que l'anhydride carbonique, est un gaz incolore et inodore Rien ne révèle sa présence dans l'air Il est combustible. Il brûle à l'air en donnant de l'anhydride carbonique, et en dégageant de la chaleur Quand il peut agir sur des oxydes chauffés, il réduit ces oxydes en leur prenant de l'oxygène, aussi est-il employé dans la métallurgie

Il est très vénéneux L'air qui en contient seulement 3 centièmes est asphyxiant Il faut éviter avec grand soin toutes les causes qui peuvent le produire, n'allumer du charbon que sous une cheminée à bon *tirage,* ne pas laisser rougir les parois des poêles à combustion lente

On obtient l'oxyde de carbone en décomposant par l'acide sulfurique soit l'acide formique, soit l'acide oxalique, dans ce dernier cas il faut un *laveur* contenant de la potasse pour retenir l'anhydride carbonique.

## EXERCISE 8.

### Lois des Combinaisons—Symboles—Nomenclature

donner lieu = to give rise to
composant = component
corps réagissant = reacting body
loi = law
rapport simple = simple ratio
avoir lieu = to take place
figurer = to express, to represent
l'ensemble = the whole, the sum total
suivre = to follow
acide chlorhydrique = hydrochloric acid
acide sulfhydrique = hydrosulfuric acid
acide iodhydrique = hydriodic acid
chaux vive = quicklime
sel = salt
azotite de potassium = potassium nitrite
azotate de sodium = sodium nitrate
recueillir = to collect

La combinaison est un phénomène chimique qui *donne lieu* à un corps nouveau, différent de ses *composants;* elle dégage d'ordinaire de la chaleur et elle ne peut se faire qu'entre des proportions déterminées des *corps réagissants*

La première *loi* suivant laquelle se font les combinaisons est la loi des poids appelée encore loi de Lavoisier le poids d'un composé est toujours égal à la somme des poids des éléments qui y entrent Cette loi est très générale, Lavoisier l'a formulée en disant rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme

La deuxième loi est dite loi des proportions définies ou de Proust; deux ou trois corps, pour former un même composé, se combinent toujours dans les mêmes proportions Quelle que soit[1] la quantité d'oxygène que l'on mette en présence d'un poids donné d'hydrogène, les deux corps se combineront toujours dans la proportion de 8 du premier pour un du second.

La troisième loi est dite loi des proportions multiples ou de Dalton Un même corps peut donner avec un autre plusieurs combinaisons différentes et les poids de l'un qui se combinent à un même poids de l'autre sont entre eux dans des *rapports simples* ou autrement dit, ces poids sont des multiples simples de l'un d'entre eux L'un des exemples les plus complets est celui de l'azote et de l'oxygène qui offre six combinaisons · un même poids d'azote (28 grammes) se combine avec une fois, 2, 3, 4, 5 et 6 fois

[1] Quelle que soit = whatever may be

16 grammes d'oxygène, ou bien les poids d'oxygène qui se combinent avec un même poids d'azote sont entre eux comme, 1, 2, 3, 4, 5 et 6 Ces rapports de poids, suivant lesquels ont lieu les combinaisons, ont reçu le nom de nombres proportionnels, et même le nom moins général d'équivalents

A ces lois des poids vient s'ajouter la loi des combinaisons gazeuses en volumes appelée aussi loi de Gay-Lussac et dont voici l'énoncé: les volumes de deux gaz qui se combinent sont entre eux dans un rapport simple et le volume du composé est dans un rapport simple avec les volumes des composants Cette loi est fort importante et elle donne un moyen simple de formuler les combinaisons des gaz 1 volume d'hydrogène avec 1 volume de chlore donnent 2 volumes de gaz chlorhydrique. 2 volumes d'hydrogène avec 1 volume d'oxygène donnent 2 volumes d'eau en gaz. 3 volumes d'hydrogène avec 1 volume d'azote donnent 2 volumes de gaz ammoniac Tels sont les exemples les plus saillants des combinaisons gazeuses et auxquels se rapportent presque tous les autres

Le dégagement ou l'absorption de chaleur, autrement dit, les phénomènes thermiques qui accompagnent les combinaisons sont fort importants à étudier, parce qu'on y considère la chaleur comme représentant un travail effectué entre les molécules des corps On a donné à cette partie de la chimie le nom de mécanique chimique ou encore celui de thermo-chimie Elle a été developpée, en France, par les beaux travaux de M. Berthelot

Berthelot a formulé trois principes sur les rapports de la chaleur et du travail dans les réactions chimiques le premier exprime que la chaleur est la représentation à la fois des travaux physiques tels que changements d'état, dilatation, etc , et des travaux chimiques entre les molécules des corps Le deuxième montre qu'entre un état initial et un état final donné, peu importe ce qu'aient été[1] les intermédiaires, la quantité de chaleur produite ou absorbée est la même. Enfin le troisième, en posant la question du travail maximum, permet de prévoir la réaction qui *aura lieu* entre plusieurs corps si l'on connaît les quantités

[1] peu importe ce qu'aient été = no matter what may have been

de chaleur dégagées dans chacun des cas en général, c'est la réaction qui dégage le plus de chaleur qui se produit

En chimie, on représente les corps simples et les corps composés par des symboles qui facilitent l'écriture et qui *figurent* plus commodément les réactions Les symboles des corps simples sont le plus souvent formés de la première lettre du nom du corps, O (oxygène), H(hydrogène) ou des deux premières lettres ou de deux autres lettres quand plusieurs corps commencent par la même· C(carbone), Cl(chlore), Pb(plomb), Pt(platine), Az (azote), Ag(argent).

Les symboles des corps composés sont formés des symboles des éléments qui y entrent, écrits à la suite l'un de l'autre Pour que ces symboles représentent non pas seulement le corps qu'ils désignent, mais un poids déterminé de ce corps, le poids qui entre dans les combinaisons, il faut choisir un système de nombres ou de poids proportionnels

Les symboles des corps composés sont formés de ceux des corps qui y entrent, mais si un corps simple y entre en plusieurs proportions, on le munit d'un exposant qui l'indique C'est ainsi que le symbole de l'eau $H_2O$ révèle que 2 volumes d'hydrogène se sont unis à 1 volume d'oxygène

La nomenclature chimique est l'*ensemble* des règles que l'on *suit* pour donner aux corps des noms qui rappellent leur composition ou leurs propriétes Elle a été établie à la fin du siècle dernier sur l'initiative de Guyton de Morveau, et elle n'a subi depuis que les modifications rendues nécessaires par les progrés de la chimie

On n'a pas suivi de règle fixe pour nommer les corps simples, mais on en a établi de très précises pour un grand nombre de corps composés. Pour les corps binaires formés d'un métalloide et d'un métal, le premier nom est celui du métalloide terminé en *ure* et suivi du nom du métal, exemple chlorure de plomb, sulfure de fer Et quand il y a plusieurs composés, ils sont désignés par le même nom avec les préfixes proto, sesqui, bi, tri, tetra, penta, etc

Pour deux métalloides, l'un est terminé en *ure* et c'est celui

du métalloide qui se trouve avant l'autre dans le tableau de ces corps par famille

Les composés binaires oxygénés forment à part une classe très nombreuse et très importante, on y trouve les anhydrides et les oxydes Un anhydride procède généralement de la combinaison d'un métalloide avec l'oxygène, il peut donner un acide en prenant de l'eau Pour le dénommer, on termine en *ique* ou en *eux* le nom du métalloide précédé du mot anhydride; c'est ainsi que l'on a avec le soufre l'anhydride sulfureux et l'*anhydride sulfurique,* avec le carbone l'anhydride carbonique, etc Et ces deux formes de noms peuvent être précédées des particules *hypo* ou *hyper* ou *per*

Les oxydes sont formés des métaux et de l'oxygène et ont pour nom le mot oxyde suivi du nom du métal oxyde de fer, oxyde de cuivre, etc Peut-être vaudrait-il mieux[1] leur appliquer les mêmes terminaisons qu'aux anhydrides et dire oxide ferreux et oxyde ferrique au lieu de dire protoxyde et sesquioxyde de fer

Les composés binaires hydrogénés ne sont pas tous nommés d'après la règle générale ceux qui sont acides ont au nom du métalloide la terminaison hydrique, tels sont les acides chlorhydrique, sulfhydrique, iodhydrique

Les composés ternaires, formés de trois corps, comprennent trois groupes les acides, les bases et les sels Les acides sont des anhydrides sur lesquels l'eau a agi et qui ont par suite de l'hydrogène dans leur molécule Ils ont les mêmes noms que les anhydrides avec des symboles un peu différents, ainsi l'anhydride azotique est $Az_2O_5$ et l'acide $AzO_3H$

Les bases sont des oxydes ayant pris de l'eau, comme la chaux hydratée $CaO\,H_2O$ qui diffère de la *chaux vive* dont le symbole est CaO

Les *sels* ressemblent aux acides dont l'hydrogène a été remplacé par un métal Leur nom se compose du nom de l'acide avec *ate* au lieu de *ique* et *ite* au lieu de *eux*, puis le nom du métal, tels sont l'*azotite de potassium,* l'*azotate de sodium,* le sulfite et le sulfate de potassium

Les formules des corps représentent les poids ou les volumes

[1] Peut-être vaudrait-il mieux = It might perhaps be better

qui se combinent. Comme rien ne se perd, on peut écrire qu'il y a égalité entre les corps réagissants avec leurs poids et les corps produits tous *recueillis* et pesés. On écrit donc une égalité chimique sous laquelle on lit que les poids d'avant l'expérience doivent égaler les poids divers trouvés après l'expérience faite. Et ces égalités qui figurent les réactions chimiques permettent de résoudre tous les problèmes numériques concernant la préparation des corps.

## EXERCISE 9

### L'Ammoniaque et les Composés Oxygénés de l'Azote

caractériser = to identify
réactif = reagent
acide azotique fumant = fuming nitric acid
eau régale = aqua regia
essence de térébenthine = turpentine
coton-poudre = guncotton
cuve à eau = pneumatic trough

L'ammoniaque est un corps composé de l'azote et de l'hydrogène. C'est un gaz incolore, d'une odeur vive qui provoque les larmes Ce gaz est très soluble dans l'eau; un litre d'eau peut dissoudre de 7 à 800 litres de gaz On a pu liquéfier le gaz ammoniac à la température ordinaire en le comprimant à une pressions de quelques atmosphères. Le liquide obtenu tend à repasser à l'état de gaz, et dans sa vaporisation rapide il absorbe beaucoup de chaleur. Il a été employé comme moyen de refroidissement dans l'appareil Carré à produire la glace.

La chaleur et l'électricité décomposent l'ammoniaque et doublent son volume, le mélange formé d'un volume d'azote et de deux volumes d'hydrogène se condense donc en deux volumes quand les deux gaz se combinent. L'ammoniaque ne brûle pas; mais ce corps peut prendre de l'oxygène, et dans la combinaison qu'il réalise ainsi, il brûle comme un corps combustible. Le plus souvent il se forme un corps oxygéné de l'azote tel que l'acide azotique.

L'ammoniaque est une base forte qui bleuit le tournesol et qui se combine aux acides avec dégagement de chaleur et production de sels qui peuvent cristalliser. On réalise par simple mélange

la combinaison de l'ammoniaque avec l'acide azotique ou avec l'acide sulfurique; l'évaporation des solutions mélangées donne des sels. La combinaison avec l'acide chlorhydrique a déjà lieu entre les deux corps gazeux; elle donne un moyen de les *caractériser* l'un par l'autre

Quand l'ammoniaque se combine aux acides, elle a déjà pris une molécule d'eau; ce n'est pas le corps $AzH_3$, c'est un composé $AzH_4OH$ comparable à la potasse KOH et dans lequel un corps composé $AzH_4$ joue le même rôle qu'un métal comme le potassium A ce composé on a donné le nom d'ammonium.

L'ammoniaque existe en petites quantités dans l'air. Elle se forme dans la putréfaction des matières organiques et dans leur décomposition lente ou rapide. Pour l'obtenir, on chauffe un sel ammoniacal avec de la chaux; l'ammoniaque mise en liberté se dégage à l'état de gaz On recueille ce gaz sur le mercure, ou bien on l'envoie se dissoudre dans l'eau pour donner l'alcali volatil ordinaire.

Dans les laboratoires c'est le chlorhydrate d'ammoniaque ou le chlorure d'ammonium qu'on distille avec la chaux Dans l'industrie c'est l'eau d'épuration du gaz d'éclairage que l'on emploie

L'ammoniaque en solution sert de *réactif;* l'industrie l'utilise dans la préparation de certaines couleurs.

L'azote et l'oxygène donnent six composés le protoxyde d'azote $Az_2O$, le bioxyde $Az_2O_2$, l'anhydride azoteux $Az_2O_3$, le peroxyde d'azote $Az_2O_4$, l'anhydride azotique $Az_2O_5$, l'anhydride perazotique $Az_2O_6$

Ils vérifient la loi des proportions multiples. un même poids d'azote, 28 grammes, se combine avec 1 fois 16 grammes, 2 fois, 3 fois, 4 fois, 5 fois et six fois 16 grammes d'oxygène Tous ces corps sont formés avec absorption de chaleur, ils se décomposent en cédant de l'oxygène

Trois d'entre eux donnent avec l'eau des acides· l'acide hypoazoteux AzOH ou $Az_2O_2H_2$, l'acide azoteux $AzO_2H$ et l'acide azotique $AzO_3H$ Ce dernier est le plus important, il est le générateur de tous les autres

L'anhydride azotique n'a pas d'usage, mais l'*acide azotique fumant* est très important par ses réactions et ses usages. L'acide

4

ordinaire appelé aussi acide nitrique ou eau-forte est facile à décomposer; il cède facilement de l'oxygène; il est oxydant en plusieurs circonstances Il oxyde les métalloides comme le soufre, le phosphore, le charbon. Il cède de l'oxygène à l'acide sulfureux pour le transformer en acide sulfurique, en même temps qu'il donne des vapeurs rutilantes. Il oxyde les métaux L'hydrogène le décompose et après lui avoir pris l'oxygène pour former l'eau, il se combine avec l'azote pour donner de l'ammoniaque Les autres métaux, à l'exception de l'or, de l'aluminium et du platine donnent des oxydes et des azotates· l'étain se transforme en oxyde, le cuivre, le plomb et l'argent se transforment en azotates Le fer n'est pas attaqué par l'acide fumant, mais il l'est vivement par l'acide étendu Le mélange d'acide chlorhydrique et d'acide azotique constitute l'*eau régale* qui peut dissoudre l'or, par le chlore et les composés d'azote et de chlore qui sont dégagés

L'acide azotique attaque presque toutes les matières organiques, il enflamme l'*essence de térébenthine,* il forme le *cotton-poudre,* les produits explosifs comme la nitro-glycérine, il colore la peau et désorganise les tissus Il sert à préparer l'acide sulfurique, les azotates, les explosifs, beaucoup de produits organiques colorés, à graver le cuivre

On ne le trouve pas souvent libre dans la nature, bien qu'il puisse se former par la combinaison de l'azote avec l'oxygène de l'air, mais on le trouve à l'état d'azotates, comme le salpêtre de l'Egypte et de l'Inde et le nitre du Chili. On le tire du salpêtre par l'action de l'acide sulfurique, en chauffant le mélange, les vapeurs d'acide azotique refroidies se condensent en un liquide fumant.

Le peroxyde d'azote $AzO_2$ ou $Az_2O_4$ se forme en gaz dans l'attaque de l'acide azotique par les métaux On l'obtient liquide en décomposant l'azotate de plomb par la chaleur et en refroidissant les vapeurs qui se dégagent

L'acide azoteux n'est intéressant que par les sels métalliques qu'il donne et qui ont le nom d'azotites Celui d'ammonium, décomposé par la chaleur, dégage de l'azote pur. On obtient l'acide azoteux par le dédoublement du peroxyde d'azote en acide

azoteux et acide azotique au contact de l'eau à 0°. Pour cela on laisse tomber goutte à goutte le peroxyde d'azote froid dans de l'eau à 0° ; il se produit de l'acide azoteux, liquide bleu qui tombe au fond de l'eau ; celle-ci dissout l'acide azotique formé et reste incolore. La dissolution étendue d'acide azoteux est assez stable pour qu'on puisse la chauffer sans la décomposer Elle joue le rôle de corps oxydant *vis-à-vis* des composés oxydables, comme l'acide sulfureux et les sels ferreux ; elle oxyde l'iodure de potassium en donnant de la potasse et de l'iode. Elle est, au contraire, réductrice, quand on la fait agir sur les corps qui cèdent facilement leur oxygène ainsi elle réduit les sels d'or et les sels de mercure en mettant le métal en liberté

Les azotites *prennent naissance* dans la décomposition incomplète des azotates alcalins L'azotate de sodium chauffé à sa température de fusion avec du plomb, et agité fréquemment dans un creuset, donne de l'azotite de sodium et de l'oxyde de plomb. La masse dissoute dans l'eau est traitée par un courant de gaz carbonique pour précipiter le plomb, puis évaporée à sec, l'azotite formé est séparé de l'azotate non décomposé par l'alcool, qui ne dissout que l'azotite

Le protoxyde d'azote ou oxyde azoteux $Az_2O$ est un gaz incolore, inodore et d'une saveur sucrée Il ne se combine avec l'oxygène ni à froid ni au rouge sombre Il n'oxyde à froid aucun corps oxydable Les corps combustibles le décomposent au rouge et, s'emparant de son oxygène, mettent l'azote en liberté Le potassium chauffé dans ce gaz s'y enflamme Il sert comme anesthésique sous le nom de *gaz hilarant* Pour cela il faut qu'il soit pur, car mêlé à des petites quantités d'oxyde azotique ou de peroxyde d'azote, il devient dangereux à respirer

## EXERCISE 10.

### Le Phosphore et Ses Composés

odeur d'ail = garlic odor
rayer par l'ongle = to scratch with the finger nail
fondre = to melt
à l'abri de = out of contact of, sheltered from
luire = to glow, to shine
se dissoudre = to dissolve
sulfure de carbone = carbon bisulfide
saillante = most pronounced
pellicule = layer
s'échauffer = to become heated
vénéneux = toxic
allumette = match
pâte gommée = sticky paste
rugueuse = rough
os = bone
laitance de poissons = fish-roe
cendres d'os = bone-ash
mouler = to mould
bulle = gas bubble

Le phosphore est un solide jaune, à l'*odeur d'ail* qui se laisse *rayer par l'ongle* Il *fond* (melts) á 44° et peut être facilement obtenu liquide quand on le jette dans de l'eau un peu chaude. Il peut être distillé, mais seulement á *l'abri de* l'oxygéne.

Il n'est pas soluble dans l'eau, bien qu'il lui donne la propriété de *luire* dans l'obscurité Il *se dissout* (dissolves) très bien dans le *sulfure de carbone* et l'évaporation de la solution le donne en cristaux.

Sa propriété *saillante* c'est d'être un corps très inflammable, il prend feu à 60° ou quand on le touche avec un corps chaud, ou encore par le frottement. En mince *pellicule* il prend feu spontanément à l'air.

Exposé à l'air il répand des vapeurs blanches et *s'échauffe* Dans l'oxygène il brûle avec une flamme très vive quand il a été allumé en un point il donne des vapeurs blanches d'anhydride phosphorique On peut le faire brûler sous l'eau quand on lui envoie de l'oxygène, mais il faut qu'il soit très divisé et qu'on le maintienne fondu dans de l'eau à 50°

Il se combine au chlore: aussi il s'enflamme quand on le descend dans un flacon de chlore. Il est vivement attaqué par l'acide azotique qui le transforme en acide phosphorique en dégageant d'abondantes vapeurs rutilantes Il *luit* dans l'obscurité, probablement parce qu'il se combine à l'oxygène de l'air, on a remarqué en effet que la phosphorescence n'a pas lieu dans les gaz qui ne contiennent pas d'oxygène libre.

Le phosphore blanc n'est pas la seule variété· il y a aussi le phosphore rouge qui diffère du premier non pas seulement par la couleur, mais aussi par toutes les propriétés Le phosphore rouge ne peut pas cristalliser; de là son nom de phosphore amorphe; il est moins fusible, moins attaquable par l'acide azotique et il n'est pas *vénéneux*

Son principal usage c'est la fabrication des *allumettes* Celles-ci sont de deux sortes, suivant que le phosphore est ordinaire ou amorphe Les allumettes au phosphore ordinaire sont des bouts de bois secs garnis de soufre et, par-dessus, d'une *pâte gommée* contenant du phosphore et colorée Le frottement contre une surface *rugueuse* suffit à les enflammer: le phosphore prend feu, allume le soufre qui allume à son tour le bois Les allumettes au phosphore amorphe portent une pâte formée de corps facilement combustibles; c'est le couvercle de la boîte qui porte la pâte phosphorée, et il faut frotter l'allumette contre la surface garnie de cette pâte pour en détacher une parcelle de phosphore qui s'enflamme par frottement et qui met le feu au soufre ou à la paraffine et ensuite au bois

Le phosphore existe à l'état de phosphates dans certains terrains, dans les *os,* le cerveau, l'urine de l'homme et des animaux, dans la *laitance des poissons* C'est de la *cendre d'os* calcinés qu'on l'extrait on le fait dégager en vapeurs que l'on condense dans l'eau sans qu'elles aient eu le contact de l'air [1] On le purifie par une filtration mécanique et on le *moule* en le tenant fondu sous l'eau avant de le laisser refroidir.

C'est Brandt qui a découvert le phosphore en calcinant l'extrait sec de l'urine. C'est Gahn et Scheele qui ont les premiers signalé sa présence dans les os et qui ont indiqué le mode d'extraction qui est encore suivi

COMPOSÉS HYDROGÉNÉS DU PHOSPHORE

Le phosphore et l'hydrogène ne se combinent pas directement, mais on connaît cependant trois phosphures d'hydrogène, un, solide, un liquide et un gazeux Ce dernier est le plus connu sous le nom d'hydrogène phosphoré

[1] Sans qu'elles aient eu le contact de l'air = without their having come in contact with the air.

Pour préparer le phosphure d'hydrogène spontanément inflammable, on fait, avec de la chaux éteinte et un peu d'eau, des boulettes, au centre desquelles on introduit un fragment de phosphore blanc Ces boulettes sont mises dans un petit ballon qu'on achève de remplir avec de la chaux éteinte, afin qu'il y reste le moins d'air possible. Au lieu de boulettes, on peut mettre dans le ballon une bouillie épaisse faite avec de la chaux éteinte et un peu d'eau, et à laquelle on a ajouté 1/10 de son poids de phosphore coupé en très petits fragments On adapte ensuite un tube à dégagement, et on chauffe lentement Le phosphore décompose l'eau, l'oxygène se combinant avec une partie du phosphore donne de l'acide hypophosphoreux, et l'hydrogène forme de l'hydrogène phosphoré avec une autre partie du phosphore. Les premières *bulles* s'enflamment dans le ballon On attend que l'inflammation ne se produise plus qu'à l'extrémité du tube abducteur, on plonge ensuite celui-ci dans l'eau, et on recueille le gaz dans des éprouvettes

Le gaz ainsi obtenu est spontanément inflammable, parce qu'il contient de la vapeur de phosphure liquide Il y a, de plus, dans ce gaz, de l'hydrogène libre provenant d'une troisième réaction du phosphore sur l'eau en présence de la chaux

On peut encore obtenir de l'hydrogène phosphoré spontanément inflammablè en décomposant par l'eau le phosphure de calcium Ce phosphure de calcium s'obtient soit en réduisant au four électrique le phosphate de calcium par le charbon (Moissan), soit en enflammant un mélange de phosphate de calcium et d'aluminium en poudre (MM Matignon et Trannoy) Ce phosphure donne au contact de l'eau du phosphure d'hydrogène non inflammable, souvent mêlé d'hydrogène

Le phosphore donne avec l'oxygène plusieurs composés, le principal est l'anhydride phosphorique qui se produit en vapeurs blanches et se dépose en poudre blanche quand on brûle du phosphore dans l'oxygène ou dans l'air sec. Ce corps se forme avec dégagement de chaleur; il dégage aussi de la chaleur quand il se dissout dans l'eau Il forme avec l'eau plusieurs hydrates dont le plus important est l'acide phosphorique ordinaire. On prépare directement cet acide phosphorique ordinaire en chauffant le phosphore dans de l'acide azotique étendu

Dans l'industrie on extrait l'acide phosphorique des os Les os sont dissous dans leur poids d'acide chlorhydrique étendu de 4 fois son poids d'eau La solution limpide obtenue est additionnée d'une dissolution bouillante contenant un poids de sulfate de sodium anhydre égal à 1 fois et demie le poids des os employés, il se précipite du sulfate de calcium que l'on sépare En neutralisant la liqueur avec du carbonate de sodium, la chaux restée en dissolution se précipite à l'état de phosphate tricalcique. Le précipité, bien lavé, est mis à digérer avec un poids équivalent d'acide sulfurique étendu On sépare le sulfate de calcium par filtration et l'on concentre la dissolution d'acide phosphorique

Outre l'acide phosphorique ordinaire il y en a deux autres l'acide pyrophosphorique, qui donne avec les métaux les pyrophosphates, et l'acide métaphosphorique qui, avec les métaux, donne les métaphosphates

Le phosphate de calcium se rencontre sous deux états, en nodules dans certaines contrées, puis provenant de la cendre d'os Il est insoluble et ne peut, sous cette forme, servir d'engrais rapide dans son action Mais quand on fait agir sur lui l'acide sulfurique, il devient en partie soluble, le mélange qui contient du phosphate acide et du plâtre prend le nom de superphosphate et constitue un engrais très actif

## EXERCISE 11

### LE SOUFRE ET SES COMPOSÉS

soufre = sulfur
état natif = native state
raffinage = refining
fleur de soufre = flowers of sulfur
soufre en canons = roll sulfur or brimstone
jaune citron = lemon yellow
insipide = tasteless
inodore = odorless
frottement = rubbing
s'épaissir = to become thick
refroidissement = cooling
état brut = raw state
raffiné = refined
se ramollir = to soften
pastille = pill
maladies de la gorge = sore throat
fer en limailles = iron filings
bien privé d'air = perfectly free from air
odeur fétide = sickening odor
eau bouillie = boiled water
toux = coughing
blanchiment = bleaching
colle de poisson = fish glue
charbonner = to carbonize
agir sur = to act upon, to react with
ordre = kind
four = oven
grillage = roasting
procédé de contact = contact process
débarrassé par lavage = freed by washing
mousse de platine = platinum sponge
amiante platinée = platinized asbestos
fécule = potato starch
épuration des huiles = purification of oils

Le *soufre* est un corps solide jaune très répandu dans la nature, où on le trouve soit à l'*état natif* comme en Sicile, soit combiné avec les métaux On l'extrait des dépôts où il se rencontre à l'état natif, et de la pyrite (bisulfide de fer) Pendant le *raffinage* du soufre on l'obtient sous forme de poussière fine qu'on appelle *fleur de soufre,* ou encore à l'état liquide, ce liquide est ensuite versé dans des moules coniques et on obtient ainsi le *soufre en canons*

A la température ordinaire le soufre est solide, d'une couleur *jaune citron, insipide* et *inodore* Il acquiert *par le frottement* l'odeur particulière des corps électrisés. Il est mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité. Il fond à 110° en un liquide jaune. A 220° il *s'épaissit* et brunit; à 330° il redevient liquide en restant brun; à 440° il passe en vapeur rouge. Le *re-*

*froidissement* lent et graduel le fait repasser par tous les états précédents

Le soufre est insoluble dans l'eau et peu soluble dans l'alcool; mais il se dissout facilement dans la benzine, dans les huiles essentielles et surtout dans le sulfure de carbone

Le soufre peut exister à l'état amorphe ou à l'état cristallisé, et comme il peut prendre deux formes différentes dans sa cristallisation, il est donc polymorphe

En France, la consommation annuelle du soufre est de plus de 40 millions de kilogrammes Une grande partie de ce soufre est employée à l'*état brut* pour la fabrication de l'acide sulfureux, de l'acide sulfurique et du sulfure de carbone dont la consommation croît journellement On emploie le soufre *raffiné* dans la fabrication des allumettes, pour vulcaniser le caoutchouc qui conserve alors son élasticité sans *se ramollir* sous l'influence de la chaleur En médecine, on l'emploie avec succès pour faire des pommades contre les maladies de la peau, et des *pastilles* contre les *maladies de la gorge* Il sert aussi à prendre des empreintes de médailles et même de gravures, et à sceller le fer dans la pierre

Le soufre brûle dans l'oxygène et à l'air avec une flamme bleue en produisant un composé gazeux, l'anhydride sulfureux Dans toutes ses autres réactions il ressemble à l'oxygène De même que[1] celui-ci donne avec les métaux des oxydes et avec l'hydrogène l'eau, de même le soufre donne avec les métaux des sulfures et avec l'hydrogène le sulfure d'hydrogène appelé encore acide sulfhydrique.

L'acide sulfhydrique se forme dans les décompositions des matières organiques animales On le trouve dans certaines eaux dites sulfureuses Pour le préparer dans les laboratoires, on décompose le sulfure de fer artificiel FeS par un acide étendu, l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique. Le gaz ainsi préparé contient toujours un peu d'hydrogène, parce qu'il y a toujours un peu de fer libre dans le sulfure de fer obtenu en chauffant un mélange à poids égaux de soufre en fleur et de *fer en limaille*. Mais la présence d'un peu d'hydrogène ne nuit généralement pas aux réactions de l'acide sulfhydrique, notamment dans son emploi

[1] De même que , de même = as . , so

pour l'analyse des sels Si l'on veut obtenir de l'acide sulfhydrique, parfaitement pur, on se sert de sulfure d'antimoine naturel qu'on chauffe avec de l'acide chlorhydrique concentré

La dissolution d'acide sulfhydrique est constamment utilisée dans les laboratoires, on l'obtient en faisant passer un courant de ce gaz dans l'appareil de Woulf, dont les flacons doivent contenir de l'eau bouillie, *bien privée d'air.*

L'acide sulfhydrique est un gaz incolore, d'une *odeur fétide,* rappelant celles des œufs pourris Il est peu soluble dans l'eau, 1 litre en dissolvant seulement 3l, 25 à la température de 15° L'alcool en dissout près de 18 fois son volume à 0°, et 12 fois son volume à 10°. C'est un acide faible, donnant des sels appelés sulfures Il est combustible et brûle avec une flamme bleue quand on l'allume Quand la combustion est complète il y a production d'eau et d'acide sulfureux Quand l'air est en quantité insuffisante, c'est l'hydrogène qui brûle le premier et le soufre se dépose Cette combustion incomplète a lieu quand le gaz est dissous dans l'eau, si celle-ci contient de l'air, alors le liquide blanchit par le dépôt de soufre Les solutions que l'on veut avoir limpides et garder telles[1] doivent être faites dans l'*eau bouillie* En présence des corps poreux l'acide sulfhydrique s'oxyde très complètement et peut donner de l'acide sulfurique

Beaucoup de corps simples, métalloides ou métaux, décomposent l'acide sulfhydrique, les uns lui prennent l'hydrogène, comme l'iode, et mettent le soufre en liberté, les autres, comme le plomb ou l'étain, lui prennent le soufre pour donner des sulfures et laissent l'hydrogène Les dissolutions métalliques des métaux comme le plomb, l'étain, etc, sont attaquées par l'acide sulfhydrique avec production de sulfures

Lorsqu'on brûle du soufre à l'air, il se produit un gaz qui est l'anhydride sulfureux, et qui peut être considéré comme le point de départ des composés oxygénés du soufre Ces composés oxygénés comprennent trois anhydrides l'anhydride sulfureux $SO_2$, l'anhydride sulfurique $SO_3$, et l'anhydride persulfurique $S_2O_7$ Ils comprennent en outre plusieurs acides qui ont de l'hydrogène à échanger contre les métaux pour donner des sels; les deux plus

[1] garder telles = to keep as such

importants sont l'acide sulfureux $SO_3H_2$ et l'acide sulfurique $SO_4H_2$

L'anhydride sulfureux se présente en gaz ou en dissolution. En gaz, c'est l'anhydride $SO_2$ qui provoque la *toux*, qui est très soluble dans l'eau, qu'on peut liquéfier à 10° au-dessous de zéro Le gaz sulfureux ne brûle pas, il éteint les gaz en combustion Il peut néanmoins prendre de l'oxygène et dégager de la chaleur dans cette combinaison, en donnant l'anhydride sulfurique

La dissolution du gaz, ou l'acide sulfureux liquide, est un réducteur puissant, il peut enlever l'oxygène à certains oxydes comme le bioxyde de plomb, et aussi aux composés de l'azote, c'est cette dernière réaction qui est utilisée dans la production de l'acide sulfurique On peut facilement montrer le pouvoir réducteur du gaz sulfureux en lui faisant décolorer du permanganate de potasse, la décoloration est instantanée L'anhydride sulfureux est employé au *blanchiment* de la laine, de la soie, des plumes, de la paille, des éponges, de la *colle de poisson,* etc Il détruit aussi les germes organisés qui sont sur les substances organiques les agents de la putréfaction L'anhydride sulfureux, absorbé par un lait de chaux, donne le bisulfite de calcium employé pour la décoloration des jus sucrés, la préparation des pâtes de bois et de paille destinées à la fabrication du papier

Quand on brûle le soufre à l'air, on obtient de l'anhydride sulfureux, mais le gaz reste mélangé d'azote Ce procédé ne peut pas servir dans les laboratoires, mais l'industrie du blanchiment de la laine l'emploie On obtient l'anhydride sulfureux pur en désoxydant l'acide sulfurique On emploie pour cela soit du mercure, soit du cuivre

L'acide sulfurique se présente sous trois formes · l'acide anhydre $SO_3$, l'acide ordinaire $SO_4H_2$, et l'acide de Nordhausen ou fumant qui est un mélange des deux premiers

L'acide fumant est obtenu par la distillation sèche du vitriol vert ou sulfate de fer desséché et dont le résidu est le colcotar Aujourd'hui, on l'obtient en produisant de l'acide anhydre qu'on envoie se dissoudre dans l'acide ordinaire. Il sert à la fabrication des produits organiques nitrés comme le celluloïd, ou de certaines couleurs comme l'alizarine.

L'acide sulfurique ordinaire ou monohydraté est un liquide lourd, d'apparence huileuse, appelé parfois huile de vitriol C'est un acide très énergique, il en faut bien peu[1] dans l'eau pour que la solution rougisse le tournesol. Il se combine à l'eau avec un grand dégagement de chaleur; aussi recommande-t-on de verser toujours l'acide dans l'eau en agitant, et jamais l'eau dans l'acide. Il enlève l'eau aux corps, aussi est-il employé comme dessiccateur Il *charbonne* le bois, et en général, les matières organiques. Il brunit quand on le laisse dans des flacons ouverts parce qu'il carbonise les poussières de l'air qui s'y mélangent.

Les métalloides qui peuvent s'unir à l'oxygène le désoxydent en produisant de l'anhydride sulfureux; telle est évidemment l'action du charbon et du soufre qui, chauffés avec l'acide sulfurique, font dégager de l'anhydride sulfureux Les métaux *agissent sur* l'acide sulfurique et produisent des sulfates Avec les uns, comme le fer et le zinc, il faut employer un acide étendu et il se dégage de l'hydrogène (c'est ainsi qu'on produit ordinairement l'hydrogène en attaquant le zinc par l'acide sulfurique) Avec les autres, comme le plomb, le cuivre, l'argent, c'est l'acide concentré qu'il faut employer, et c'est de l'anhydride sulfureux qui se dégage

L'acide sulfurique agit sur les oxydes Avec la baryte, le dégagement de chaleur rend le produit incandescent Avec les oxydes dissous, comme la potasse ou la soude, il y a une neutralisation et la formation d'un sel qu'on peut faire cristalliser de sa solution Avec les chlorures, il y a échange d'un métal contre l'hydrogène, dégagement d'acide chlorhydrique et formation de sulfates.

Les sulfates formés par l'action de l'acide sulfurique sur les métaux, les oxydes ou les sels sont de deux *ordres,* suivant qu'un ou deux atomes d'hydrogène de l'acide sont remplacés par les métaux on a donc des bisulfates et des sulfates.

L'acide sulfurique peut être formé si l'on fixe de l'oxygène et de l'eau à la molécule de l'anhydride sulfureux. L'industrie le fabrique en très grande quantité en utilisant cette réaction. L'anhydride sulfureux est produit dans des *fours* et provient du

[1] il en faut bien peu = very little is needed.

*grillage* des pyrites de fer. On produit en même temps de l'acide azotique. Les gaz sont envoyés dans des chambres de plomb très spacieuses, avec de la vapeur d'eau et de l'air, et les réactions s'effectuent pour produire l'acide sulfurique. Le liquide obtenu dans les chambres est concentré, d'abord dans des vases de plomb, puis dans des vases de platine, et il est livré au commerce marquant 66° à l'aréomètre de Beaumé.

Aujourd'hui, on produit aussi l'acide sulfurique par le *procédé de contact* qui consiste à employer un mélange d'air et d'anhydride sulfureux provenant du grillage des pyrites, et bien *débarrassé par lavage* des impuretés et des poussières (composés de l'arsenic, du phosphore, du mercure, etc.) susceptibles d'agir chimiquement ou mécaniquement sur la *mousse de platine* et de la mettre hors d'usage au bout de peu de temps Le mélange d'air et d'anhydride sulfureux ainsi purifié et desséché arrive chaud sur l'*amiante platinée,* disposée de manière à présenter une grande surface Une température convenablement réglée permet d'obtenir l'oxydation presque totale de l'anhydride sulfureux L'anhydride sulfurique ainsi obtenu peut être mélangé à l'eau, ce qui donne de l'acide sulfurique concentré et pur, ou passé dans de l'acide sulfurique ordinaire pour obtenir les acides fumants

L'acide sulfurique est, de tous les acides, le plus employé dans les laboratoires et dans l'industrie, ses usages s'accroissent chaque jour. *Grâce à sa fixité*[1] et surtout à la grande chaleur qu'il dégage en se combinant aux bases fortes, l'acide sulfurique sert à la préparation des acides volatils, comme l'anhydride carbonique, l'acide azotique, l'acide chlorhydrique, etc. La faible solubilité du sel qu'il forme avec la chaux, et la grande quantité de chaleur qu'il dégage en se combinant avec cette base le font employer dans la préparation des acides phosphorique, citrique, tartrique et stéarique. Il est utilisé dans la production des aluns, des sulfates de fer, de cuivre, de sodium. L'acide sulfurique très étendu sert, avec le zinc, à la préparation du gaz hydrogène, et à la production des courants électriques dans les piles. Il sert à affiner les métaux précieux. Il est employé dans la préparation des superphosphates. On rencontre encore l'acide sulfurique dans la

[1] grâce à sa fixité = thanks to, or on account of its stability

préparation de l'alizarine, de la résorcine, dans la fabrication du sucre de *fécule* et dans l'*épuration des huiles* En résumé, il n'est presque pas[1] un corps à l'occasion duquel on n'a pas à rappeler un usage de cet acide.

## EXERCISE 12

### Le Chlore Et Ses Dérivés

recueillir = to collect
mettre en marche = to start, to set up
manier = to handle
emmagasiné = stored
récipient en acier = steel receptacle
robinet = faucet
faire dégager = to let escape
coupelle = cupel
gerbes de feu = mass of fire, of sparks
cuve à mercure = mercury trough
avec détonation = with explosion
à froid = in the cold
décolorant = bleaching agent
en grand = on a large scale
lame de fer = sheet of iron
cloison poreuse = porous partition
se présente en gaz = appears or comes in the form of gas
brouillard = fog, fumes
bonbonne = jug, demijohn
outre = besides
composé détonnant = explosive compound

Le chlore est un gaz jaune verdâtre, d'une odeur forte et suffocante Il pèse deux fois et demie plus que l'air, trente-cinq fois et demie plus que l'hydrogène Le poids d'un litre de chlore est de 3 gr., 17 On profite de cette circonstance pour le *recueillir* par déplacement d'air en faisant venir jusqu'au fond d'un flacon que l'on veut remplir le tube qui amène le gaz Il est soluble dans l'eau, et sa solubilité semble augmenter jusque vers 8° pour décroître ensuite Un litre d'eau n'en dissout que 10 grammes environ, aussi peut-on le recueillir sur l'eau comme les autres gaz Pour éviter d'avoir à *mettre en marche* des générateurs à chlore chaque fois que l'on a besoin d'un courant prolongé de ce gaz, on prépare industriellement le chlore liquide, plus facile à *manier* et à transporter On l'obtient en comprimant à l'aide de pompes à acide sulfurique, sous une pression de 4 atm, 15, le chlore préparé par électrolyse Le chlore liquide, n'attaquant pas les métaux, est *emmagasiné* dans des *récipients en acier,* munis d'un *robinet* par lequel on *fait dégager* le chlore gazeux.

[1] il n'est presque pas = there is hardly

Le chlore se combine vivement avec la plupart des corps simples, des métalloïdes comme le phosphore et l'arsenic, et des métaux comme l'antimoine, le cuivre, le fer, le mercure, il brûle les mêmes corps que l'oxygène à l'exception du charbon, et il dégage beaucoup de chaleur dans ses combinaisons. Les produits formés, que l'on nomme chlorures, prennent naissance avec dégagement de chaleur, parfois même avec production de lumière. Le phosphore, introduit à l'aide d'une *coupelle,* dans un flacon plein de chlore, s'y enflamme spontanément et donne du pentachlorure de phosphore solide $PCl_5$, dans les points où le chlore est en excès. Il se produit du trichlorure liquide s'il y a excès de phosphore. L'arsenic et l'antimoine, projetés en poudre fine dans un flacon plein de chlore, y brûlent en produisant des *gerbes de feu,* il se forme du chlorure d'arsenic ou des chlorures d'antimoine. Une spirale de cuivre dont on chauffe légèrement l'extrémité inférieure, et qu'on plonge ensuite dans un flacon de chlore, donne du chlorure que l'on voit tomber en gouttelettes incandescentes au fond du flacon. Le mercure est attaqué par le chlore à la température ordinaire, aussi ne peut-on pas recueillir ce gaz sur la *cuve à mercure.*

Le chlore se combine à l'hydrogène instantanément et *avec détonation* à la lumière solaire, lentement à la lumière diffuse. La combinaison instantanée se produit également sous l'influence de la flamme de magnésium, cette lumière étant riche en rayons chimiques. Le chlorure d'hydrogène formé prend le nom d'acide chlorhydrique. Cette affinité du chlore pour l'hydrogéne nous fait prévoir qu'il pourra décomposer un grand nombre de composés hydrogénés en s'emparant de leur hydrogène. C'est ainsi que le chlore décompose *à froid* les acides bromhydrique et iodhydrique. Le chlore, en dissolution dans l'eau, la décompose à la température ordinaire. Sous l'influence des rayons solaires il se produit de l'acide chlorhydrique avec dégagement d'oxygène; le chlore en présence de l'eau est donc un oxydant. L'eau de chlore ne se conserve que dans des flacons en verre noir.

Le chlore est *décolorant* et désinfectant, probablement parce qu'il détruit les matières organiques en leur enlevant l'hydrogène ou en provoquant leur oxydation.

Le chlore, en agissant sur les carbures saturés tels que le méthane, peut s'emparer de l'hydrogène et se substituer atome à atome à l'hydrogène enlevé en donnant des produits de substitution. Le chlore peut aussi se combiner avec certains carbures d'hydrogène non saturés, tels que l'éthylène, pour donner des composés d'addition.

On produit le chlore en attaquant l'acide chlorhydrique par le bioxyde de manganèse, c'est la réaction généralement employée dans les laboratoires. Quand on produit le chlore *en grand* pour le faire entrer dans des composés liquides ou solides qui en rendent le maniement plus facile,[1] comme le chlorure de chaux, on applique le procédé Weldon où la même quantité de bioxyde de manganèse peut être indéfiniment régénérée, et où la dépense ne consiste que dans l'acide chlorhydrique et dans la chaux qui sert à la régénération de l'oxyde

On prépare aussi une grande quantité de chlore industriellement par l'électrolyse d'une dissolution concentrée de chlorure de sodium Le chlore se dégage à l'anode, formée de graphite ou de charbon comprimé, tandis qu'à la cathode, formée par une *lame de fer* et séparée de la précédente par un diaphragme ou *cloison poreuse,* le sodium donne, au contact de l'eau, de la soude et de l'hydrogène.

L'acide chlorhydrique, appelé encore acide muriatique, *se présente en gaz* ou en liquide formé par la dissolution du gaz dans l'eau Le gaz est plus lourd que l'air, il pèse 18,25 fois plus que l'hydrogène Il est très soluble dans l'eau qui en prend plus de 500 fois son volume à la température de 0°, quand le gaz est pur, son absorption est instantanée Au contact de l'air humide, il répand d'épaisses fumées dues à ce que[2] le gaz, s'emparant de la vapeur d'eau de l'atmosphère, forme avec elle un hydrate ayant une force élastique très faible. et, par suite, se condensant sous forme de *brouillard*

On prépare l'acide chlorhydrique en attaquant le sel marin ou chlorure de sodium par l'acide sulfurique, l'acide réagissant à une température peu élevée sur le sel marin, donne de l'acide

[1] qui en rendent le maniement plus facile = which facilitate its handling
[2] dues à ce que = owing to the fact that

chlorhydrique et du bisulfate de sodium. La réaction s'arrête là, quand on ne chauffe que légèrement, dans des ballons de verre; mais si, comme dans l'industrie, on fait la préparation dans des appareils qui permettent d'élever la température jusqu'au rouge, on peut n'employer qu'un poids d'acide sulfurique égal au poids de sel marin, parce que le bisulfate formé dans la première partie de l'opération, réagit sur le sel marin sous l'influence d'une température élevée, et donne du sulfate neutre et de l'acide chlorhydrique. Le gaz est envoyé dans des *bonbonnes* à demi pleines d'eau où il se dissout peu à peu au contact du liquide. L'acide du commerce est souvent coloré en jaune par un peu de chlorure de fer.

L'acide chlorhydrique liquide attaque les métaux et donne les chlorures en dégageant de l'hydrogène. Cette formation de chlorures a lieu avec presque tous les métaux. L'acide chlorhydrique, en agissant sur les oxydes basiques ou sur les hydrates de ces oxydes, donne des chlorures et de l'eau. Avec les sulfures il donne un chlorure et de l'acide sulfhydrique, et avec les carbonates, un chlorure et de l'acide carbonique. Avec les sels d'argent, il donne un précipité de chlorure d'argent qui, d'abord blanc, devient violet, puis noir, sous l'influence de la lumière. Ce précipité caractérise l'acide chlorhydrique et ses sels.

Le chlore ne se combine pas directement avec l'oxygène, mais il existe plusieurs composés oxygénés du chlore, des acides qui ont, *outre* du chlore et de l'oxygène, de l'hydrogène à échanger contre les métaux pour donner des sels: ce sont les acides hypochloreux $ClOH$, chloreux $ClO_2H$, chlorique $ClO_3H$ et perchlorique $ClO_4H$. Le premier et le troisième sont les plus importants. La dissolution d'acide hypochloreux est constamment employée dans les laboratoires, comme oxydant énergique. Dans l'industrie, on emploie pour les blanchiments les hypochlorites alcalins ou alcalino terreux comme le chlorure de chaux. L'acide chlorique est très instable, les chlorates se forment par l'action de la chaleur sur les hypochlorites. Le chlorate de potassium est le sel le plus intéressant. Il se décompose par la chaleur et dégage de l'oxygène; c'est la raison qui le fait employer pour préparer ce gaz. Il donne des *composés détonnants* avec les combustibles comme le soufre.

## EXERCISE 13

### Les Oxydes Les Sels

à tel point que = to such an extent, so that
peinture = paint
émail = enamel
colcotar = red ochre
voie humide = wet way
éclat = brilliancy, lustre
céruse = white lead
tiers = third part
laisser dégager = to yield
moitié = half
essayer = to analyse
provenance = origin
polissage = polishing
se refaire = to reform
argile = clay
estimée = valuable
sable = sand
grès = earthenware
chaux vive = quick lime
chaux éteinte = slaked lime
ciment arme = reenforced concrete
refroidie = cooled
se congeler = to freeze
à sec = to dryness
décaper = to scour
teinture = dye industry
rongeant = corrosive
colorant = dye
relever = to enhance, to bring out
se troubler = to become turbid
engrais = fertilizer
encollage = sizing
fumier = stable manure
étaler au pinceau = to spread with a brush

Tous les métaux, à l'exception du platine, de l'or et de l'argent, peuvent être oxydés quand on les chauffe dans l'oxygène ou dans l'air, le mercure s'oxyde à 350°, le cuivre au rouge sombre, le zinc qui est volatil, brûle avec une flamme bleuâtre en produisant de l'oxyde de zinc en flocons blancs

La présence de l'humidité ou de l'eau favorise l'oxydation de certains métaux La rouille du fer se produit abondamment à l'air humide, *à tel point* qu'il faut préserver le fer de l'oxydation, soit par une *peinture,* soit par un *émail,* soit par une mince couche d'un autre métal, de zinc, par exemple, comme dans le fer galvanisé.

Les oxydes formés de la combinaison d'un métal avec l'oxygène sont désignés par le nom du métal. oxyde de fer, oxyde de plomb, excepté ceux dont on a gardé l'ancien nom et qui étaient connus avant le métal qu'ils contiennent potasse, soude, chaux Si le même corps forme avec l'oxygène plusieurs oxydes, on peut se servir des terminaisons *eux* et *ique,* comme pour les acides oxyde ferreux, oxyde ferrique

Il y a trois modes de préparation des oxydes  Le premier est l'oxydation à l'air, autrement dit de l'action directe de l'oxygène emprunté à l'air ou à un corps qui le cède facilement. On fait ainsi les oxydes de plomb, l'oxyde de zinc et l'oxyde noir de cuivre

Un second moyen est de détruire un sel par la chaleur pour le dissocier en un anhydre qui se dégage et en oxyde qui reste  on prépare ainsi la chaux en chauffant le carbonate de chaux, on peut obtenir l'oxyde de mercure par calcination de l'azotate, l'alumine par calcination de l'alun, le *colcotar* par la calcination du sulfure de fer

Le troisième moyen est appelé la *voie humide,* parce qu'on y obtient l'oxyde en mélangeant deux dissolutions  on a, en effet, la plupart des oxydes en versant de la soude, de la potasse ou de l'ammoniaque dans une dissolution d'un sel du métal dont on veut l'oxyde

Les oxydes métalliques sont tous solides et sans *éclat*  La plupart sont insolubles dans l'eau. La chaleur en décompose quelques-uns comme le bioxyde de manganèse qui fournit de l'oxygène  Ils peuvent être décomposés quand on les chauffe avec du charbon ou du soufre, ou que l'on fait agir sur eux de l'hydrogène  L'hydrogène réduit la plupart des oxydes à une température plus ou moins élevée et c'est souvent le moyen que l'industrie emploie pour avoir le métal

Les oxydes naturels et artificiels sont nombreux puisque chaque métal peut en donner au moins un, et souvent plusieurs  Quelques-uns sont des minerais métalliques, comme les oxydes de fer et l'oxyde d'étain, la plupart sont des produits utilisés, comme les oxydes de plomb, l'oxyde de zinc, le bioxyde de manganèse, l'alumine, la rouille ou le sesquioxyde de fer, la chaux et les hydrates de potasse et de soude

Les oxydes de plomb sont au nombre de trois · le protoxyde ou litharge PbO, le bioxyde $PbO_2$ et le minium $Pb_3O_4$  A part le bioxyde qui n'a d'usage que dans les laboratoires, les autres sont très employés  la litharge sert à la préparation de tous les sels de plomb, notamment la *céruse,* et le minium entre dans la composition du cristal, et dans la peinture des fers

L'oxyde de zinc ou blanc de zinc est obtenu en volatilisant du zinc fondu: la vapeur du métal se combine à l'oxygène de l'air et le produit obtenu est une poudre blanche. Les peintres l'emploient au lieu de la céruse, à laquelle il est préféré parce qu'il ne noircit pas aux émanations sulfureuses.

Le bioxyde de manganèse est un produit naturel en poudre noir Chauffé, il donne le *tiers* de son oxygène; traité par l'acide sulfurique il *laisse dégager la moitié* de l'oxygène qu'il contient. Mais son principal emploi, c'est la production du chlore avec l'acide chlorhydrique ou le sel marin La valeur d'un bioxyde de manganèse dépend de la quantité de chlore qu'il peut contribuer à faire dégager, et c'est sous ce rapport qu'on *essaie* les peroxydes de manganèse de diverses *provenances*

Le sesquioxyde de fer peut être obtenu par voie sèche ou par voie humide Par voie sèche, c'est-à-dire par calcination du sulfate de fer, le produit obtenu appelé colcotar est une poudre rouge qu'on utilise au *polissage* des glaces Hydraté, le sesquioxyde de fer est poreux, au contact des matières organiques, il repasse à l'état de protoxyde et il *se refait* par l'oxygène de l'air, il joue ainsi le rôle d'un oxydant et d'un destructeur des corps organiques qui sont en contact avec lui On s'explique ainsi la détérioration rapide du bois autour des pièces de fer rouillées

L'alumine ou oxyde d'aluminium est très répandue, puisqu'elle est la base des *argiles* Pure et cristallisée, elle donne les rubis, les saphirs, pierres précieuses très *estimées*, mélangée de *sable*, elle donne les émeris et les *grès* Produite à l'état de précipité, dans les laboratoires, elle est d'aspect gélatineux. Elle a deux propriétés intéressantes, elle retient l'eau et elle donne des laques avec les matières colorantes La première explique le rôle des argiles dans les terres et dans les couches du sol.

La chaux est obtenue par calcination du carbonate de chaux. Anhydre, c'est la *chaux vive*, hydratée, c'est la *chaux éteinte* Elle est surtout employée dans la construction, mais elle a aussi quelques autres usages comme base forte. Les mortiers sont des mélanges de chaux avec des fragments nombreux de pierre ou de sable qui favorisent leur durcissement à l'air, la chaux y reprend l'état de carbonate solide et dur contre tous les fragments

pierreux qui y existent. Les ciments sont des poudres provenant de la calcination de calcaires auxquels on a mêlé 40 pour 100 d'argile Ils ont la propriété d'absorber l'eau comme le plâtre et de donner avec elle une masse qui durcit quelquefois très vite. Les *ciments armés* sont des ciments se solidifiant dans des treillis de fils de fer. Ils résistent à la flexion et sont très employés dans la construction.

Les sels peuvent être regardés comme résultant de la substitution d'un métal à l'hydrogène dans l'acide Pour les nommer, on fait suivre le nom de l'acide, en modifiant sa terminaison, par le nom du métal. Si l'acide est terminé en *ique*, on remplace cette terminaison par *ate* ainsi l'acide azotique forme les azotates, l'acide chlorique forme les chlorates Si l'acide est terminé, en *eux*, on termine le nom du sel par *ite*: ainsi l'acide azoteux donne les azotites Pour nommer les composés binaires non oxygénés, on termine par *ure* le nom du corps électronégatif, et l'on met ensuite le nom du corps électropositif Ex. chlorure de sodium, sulfure de carbone, carbure d'hydrogène

L'eau joue quelquefois le rôle d'acide vis-à-vis des oxydes basiques, on donne aux composés résultant de cette réaction le nom d'hydrates Deux sels contenant un même acide et des métaux différents se combinent quelquefois ensemble, on appelle sel double le résultat de cette combinaison Ex: sulfate double de potassium et d'aluminium

Les sels les mieux connus sont évidemment ceux des acides ordinaires, comme les chlorures, les sulfates, les nitrates ou azotates, les carbonates

On prépare les chlorures par plusieurs procédés d'abord par l'action directe du chlore sur le métal; on fait ainsi le bichlorure d'étain Le deuxième moyen c'est l'action de l'acide chlorhydrique sur le métal, sur son oxyde ou sur un de ses sels; on fait ainsi le chlorure de zinc, le protochlorure de fer et d'étain, le chlorure de calcium et nombre d'autres. Un troisième procédé consiste à faire agir un chlorure comme le chlorure de sodium sur un autre sel en dissolution, on fait ainsi le chlorure d'argent. Enfin pour obtenir le chlorure d'or et celui de platine, on a recours à l'eau régale.

Les chlorures sont presque tous solides et tous solubles à part le chlorure de plomb, le protochlorure de mercure ou calomel et le chlorure d'argent.

Le chlorure de calcium est obtenu par l'action de l'acide chlorhydrique sur le marbre ou la craie; c'est le résidu de la préparation de l'anhydride carbonique. Il est très soluble dans l'eau et sa dissolution peut être *refroidie* très fortement sans *se congeler,* c'est ce qui le fait employer dans les appareils de réfrigération. Evaporé *à sec,* il donne le chlorure fondu qui est employé pour dessécher les gaz.

Le chlorure de zinc est obtenu en dissolvant le zinc dans l'acide chlorhydrique On l'emploie pour *décaper* les pièces métalliques pendant qu'elles sont chauffées, il détruit en effet les oxydes en les transformant en chlorures que la chaleur volatilise.

Les deux chlorures d'étain sont l'un et l'autre employés en *teinture* Le protochlorure rèduit les sels de fer et peut être employé comme *rongeant* pour certains *colorants* Il est surtout utilisé comme mordant pour les couleurs rouges qu'il fixe en *relevant* leur éclat.

Les deux chlorures de mercure sont l'un le calomel et l'autre le sublimé corrosif Le sublimé corrosif est un poison énergique Il se combine à l'albumine en la coagulant et c'est ce qui le fait employer comme préservateur des préparations anatomiques et comme antiseptique puissant, détruisant tous les germes organisés Le chlorure d'argent est employé dans les papiers photographiques, à cause de sa propriété de noircir à la lumière et de devenir moins soluble dans l'hyposulfite de soude que le chlorure non exposé

Les sulfates peuvent être produits par l'action de l'acide sulfurique sur les métaux L'acide sulfurique étendu attaque le zinc et le fer en dégageant de l'hydrogène, concentré, il attaque le cuivre, le plomb, le mercure avec dégagement d'anhydride sulfureux. Dans les deux cas il se forme un sulfate.

Le sulfate de cuivre porte le nom de vitriol bleu Il sert dans la teinture, dans les bains galvanoplastiques, à la préparation du cuivre pur par électrolyse et des autres sels de cuivre

Le sulfate de fer ou vitriol vert est[1] en cristaux verts qui deviennent ocreux à l'air Il est soluble dans l'eau, mais sa solution *se trouble* et dépose de l'ocre Il a beaucoup d'usages en teinture, on l'emploie avec succès comme désinfectant.

Le sulfate d'ammonium est retiré des eaux de condensation des usines à gaz L'agriculture l'emploie comme *engrais*

Le sulfate de calcium naturel constitue la pierre à plâtre Calciné vers 200°, il perd son eau et donne un solide en poudre grise ou blanche qui est le plâtre

Les aluns sont des sulfates à deux bases dont l'une est un sesquioxyde de fer, d'alumine ou de chrome et l'autre la potasse, la soude ou l'ammoniaque, avec de l'eau de cristallisation Les dissolutions d'alun servent en teinture, dans l'*encollage* du papier, dans la préparation des peaux, dans la clarification des eaux

L'azotate de sodium existe au Pérou et au Chili en bancs épais et d'une très grande étendue, sous une mince couche d'argile presque à la surface du sol Ce sel est connu sous le nom de salpêtre Il sert pour préparer l'acide azotique, l'azotate de potassium et l'azotite de sodium Mêlé au *fumier*, il en augmente les propriétés fertilisantes

Certains carbonates naturels sont des minerais des métaux qu'ils contiennent, ainsi le carbonate de zinc ou calamine, le carbonate naturel de cuivre ou azurite et malachite Le carbonate de baryum et surtout celui de calcium existent en grandes masses pierreuses dans le sol Les carbonates artificiels sont formés par l'action de l'anhydride carbonique sur un oxyde hydraté L'un des plus importants de ceux-ci est le carbonate de plomb ou céruse ou encore blanc de plomb C'est une poudre blanche qui s'incorpore bien à l'huile pour donner une pâte qui se fixe bien aux corps sur lesquels on l'*étale au pinceau*

[1] est = appears, exists

## EXERCISE 14.

### Les Principaux Métaux Usuels

répandu = abundant
tenacité = tenacity
minerai de fer = iron ore
calcaire = carbonate of Ca or Mg
reposer sur = to be based upon
parcelle = particle
se souder = to weld
haut fourneau = blast furnace
fondant = flux
fonte = cast iron
couler = to cast
cubilot or convertisseur = converter
acier doux = soft steel
trempe = tempering
argentifère = argentiferous
aurifère = auriferous
laminage = rolling
martelage = hammering
ustensiles de cuisine = household utensils
alliage = alloy
laiton = brass
se ternir = to become tarnished
griller = to roast
tôle galvanisée = galvanized iron
lingot = ingot
en baguettes = rod form
étamage = tinning
soudure = soddering, welding
gisement = deposit
concassé = crushed
trompe à vide = vacuum pump
s'allier = to alloy
battage = beating, hammering
dorure = gilding
monnaies = coins, species

Le fer est très *répandu* dans la nature, mais à l'état de combinaisons diverses, on ne l'a trouvé à l'état natif que dans des météorites Ses qualités de *tenacité* et de résistance au choc le placent au premier rang des métaux usuels, mais ce n'est pas le premier métal dont l'industrie humaine s'est servie parce que les procédés pour le tirer de ses combinaisons ne sont ni simples ni très faciles

On donne le nom de *minerais de fer* aux matières minérales qui renferment du fer en quantité assez grande et sous un état qui puisse permettre l'extraction du métal. Les minerais de fer exploités pour l'extraction du métal sont des oxydes ou des carbonates, les sulfures, bien que très abondants sous le nom de pyrites, ne servent pas à l'extraction du fer L'oxyde de fer magnétique est l'un des meilleurs minerais, il forme des montagnes entières en Suède et en Norvège, il est très pur et donne des fers très estimés. Le sesquioxyde est plus répandu; il est quelquefois cristallisé en rhomboèdres très brillants; mais le plus souvent il est en masses amorphes et compactes: on l'appelle dans

ce cas ocre rouge ou hématite rouge Le sesquioxyde hydraté forme des masses jaunes ou brunes connues sous le nom de limonite Les minerais de fer sont ordinairement mêlés d'une gangue dont la nature varie et qui peut être silicieuse ou même *calcaire* La métallurgie du fer *repose sur* la réduction des oxydes de fer par l'oxyde de carbone. Si les minerais de fer étaient purs, sans mélange de gangue, il serait facile d'en retirer le fer, parce qu'il suffirait de les chauffer avec du charbon pour enlever l'oxygène et laisser les *parcelles* de fer *se souder* les unes aux autres au rouge Mais la difficulté du traitement c'est de rendre la gangue fusible en une sorte de verre fondu plus léger que le fer La méthode d'exploitation actuelle repose sur l'emploi du *haut fourneau* On met dans ce grand four le minerai mèlangé de charbon et de *fondant* Le nature du fondant dépend de la composition de la gangue qui a dû être déterminée par un essai préliminaire. Si la gangue est silicieuse, et c'est le cas ordinaire, on y ajoute du carbonate de calcium, si elle est calcaire on y ajoute des matières silicieuses. La combustion est activée artificiellement et une très haute température se développe L'argile, au lieu de se combiner à l'oxyde de fer, se combine à la chaux du calcaire, de sorte que l'on obtient tout le fer du minerai Mais comme le silicate double d'aluminium et de calcium est moins fusible que le silicate double d'aluminium et de fer, il faut élever beaucoup la température Dans ces conditions, le fer, au lieu de rester libre , se combine avec du carbone, pour former un alliage beaucoup plus fusible que le métal. Ce fer carburé se nomme *fonte*

La fonte est blanche ou grise suivant les minerais dont elle provient. Refondue et affinée par un peu de charbon, elle peut être *coulée* dans des moules en sable et elle constitue des objets usuels Mais, si au lieu de chauffer la fonte avec du coke dans des fours verticaux où elle peut encore se carburer, on cherche à lui faire perdre les matières qu'elle renferme, le silicium, le phosphore et tout ou partie de son carbone, on dit qu'elle subit l'affinage, et elle se transforme soit en acier, soit en fer Pour l'affinage de la fonte, le mode le plus employé c'est la décarburation partielle ou complète au *cubillot* ou *convertisseur* Bessemer. On traite la fonte liquide au sortir du haut fourneau par un puis-

sant courant d'air qui en oxyde les différents corps, il se développe assez de chaleur dans cette oxydation pour que la masse métallique reste fluide Et, si les qualités de la fonte sont bien connues, si l'opération est bien conduite, on obtient en coulant le métal, soit du fer pur, soit du fer un peu carburé, soit des *aciers doux*, c'est-à-dire contenant moins de 1 pour 100 de carbone, soit des aciers durs contenant encore 1 à 2 pour 100 de carbone incorporé On peut donc obtenir à volonté toutes les variétés du fer jusqu'à l'acier et toutes les variétés de l'acier

L'acier est un fer légèrement carburé (de 0,5 à 1,5 pour 100) qui jouit de propriétés spéciales de dureté et de résistance On peut l'obtenir soit par la décarburation de la fonte, c'est alors l'acier naturel, soit par la carburation directe du fer, il porte alors le nom d'acier de cémentation Dans ce dernier cas, il est généralement dur, bien disposé pour prendre la *trempe* et y gagner de l'élasticité L'acier tend à remplacer la fonte qui n'est pas, comme lui, élastique et qui est sujette à se casser, il tend même à remplacer le fer dans beaucoup d'emplois L'existence dans les aciers de certains corps simples, même en très petite quantité, modifie profondément leurs propriétés, ainsi le manganèse, le chrome, le nickel et le tungstène leur donnent des qualités (dureté, tenacité, etc ) qui les font rechercher pour des usages spéciaux

Le cuivre est un des premiers métaux que l'homme ait employé pour ses instruments On le trouvait à l'état natif avec sa couleur rouge et il suffisait de le fondre On en rencontre encore de beaux échantillons près des grands lacs salés des États-Unis d'Amérique Le cuivre s'extrait facilement du sous-oxyde et du carbonate Il suffit de faire fondre ces minerais avec du charbon Le charbon réduisant l'oxyde passe à l'état d'anhydride carbonique, et le cuivre est ramené à l'état métallique Les pyrites cuivreuses, mêlées en général au sulfure cuivreux, exigent un traitement plus long qui varie dans ses détails suivant les pays et suivant la richesse du minerai On affine actuellement le cuivre impur en électrolysant une dissolution de sulfate de cuivre rendue acide par l'acide sulfurique dans laquelle on introduit comme anode le cuivre impur à raffiner Le cuivre de l'anode se

dissout et du cuivre pur se dépose sur la cathode formée par une lame de cuivre pur. Les impuretés du cuivre à raffiner (argent, or, platine) se précipitent à l'état métallique, l'étain et le plomb à l'état de sous-sulfates, le fer, le nickel, le cobalt et le zinc restent en dissolution. L'électrolyse permet le traitement de minerais pauvres; elle est avantageuse surtout si le minerai est *argentifère* ou *aurifère*

Le cuivre est un métal rouge, susceptible d'un très beau poli. La densité du cuivre fondu est 8,8; elle augmente par le *laminage* et peut s'élever à 8,95. Le cuivre fond à 1084°, et bout à 2310°; sa vapeur brûle avec une flamme verte C'est un des métaux les plus ductiles et les plus malléables; on en fait des vases par le *martelage*, il est, après le fer, le métal usuel le plus tenace. C'est un métal très bon conducteur de la chaleur· de là son emploi pour les chaudières d'évaporation des sucreries, pour les alembics, les réfrigérants, les *utensils de cuisine* Etant très bon conducteur de l'électricité, on en fait des fils pour les lignes télégraphiques et téléphoniques Mais c'est surtout à l'état d'*alliages* qu'il est employé dans les arts et l'industrie En combinaison avec les métaux précieux, il leur donne de la dureté, ce qui permet aux alliages des monnaies de conserver toute la finesse des empreintes Le cuivre et l'aluminium donnent un bronze d'aluminium très dur et très malléable, d'un beau jaune d'or Avec le zinc, le cuivre donne le *laiton* qui sert à faire des instruments de physique, des ustensiles de ménage, des boutons, etc Les bronzes sont des alliages de cuivre et d'étain ou de cuivre et d'aluminium Ils ont plus de dureté et plus de résistance que leurs métaux générateurs On en fait des cloches, des statues, etc. Le métal se recouvre à l'air d'une couche verdâtre que l'on appelle vulgairement vert-de-gris.

Le plomb se rencontre dans la nature surtout à l'état de sulfure; son minerai porte le nom de galène et se présente fréquemment cristallisé Le plomb est un métal mou, facilement fusible, devenant liquide à 328° Il *se ternit* rapidement à l'air, mais l'oxydation s'arrête à la surface A l'air chaud, l'oxydation est rapide, surtout si l'on enlève l'oxyde à mesure qu'il se forme pour remettre à l'air la couche du métal fondu La souplesse du

plomb le fait employer en feuilles pour les réservoirs d'eau, pour les chambres à fabriquer l'acide sulfurique, pour les tuyaux, etc

Le zinc est extrait de deux minerais, la calamine qui est un carbonate, et la blende qui est un sulfure. On *grille* la blende pour l'oxyder et on réduit l'oxyde par le charbon; à la température du four le zinc se volatilise et ses vapeurs vont se condenser dans des récipients où le métal est recueilli. Le zinc peut être laminé à 100° et fondu vers 500°. Il sert en feuilles pour les toitures, les gouttières, les vases à eau. Il sert aussi pour les piles électriques. Il se recouvre à l'air d'une couche grise, mais il ne s'altère que lentement On en recouvre le fer pour obtenir la *tôle galvanisée* et le fil de fer zingué qui résistent assez longtemps à l'air humide

L'étain est l'un des métaux les plus anciennement connus Son minerai est un oxyde appelé cassitéride se présentant en sables lourds que l'on réduit facilement par le charbon à une température peu élevée pour en obtenir le métal L'étain fondu est alors coulé en *lingots* ou *en baquettes*. L'étain pur est d'un blanc d'argent, à peine oxydable à l'air, fusible à 228°, malléable à froid et pouvant être réduit en feuilles très minces qui ont l'aspect de papier métallique En feuilles, l'étain sert à préserver les matières alimentaires de l'humidité et de l'air, à l'*étamage* des vases de cuivre employés pour la cuisine, ce qui préserve le cuivre contre l'attaque des acides organiques et contre la production de composés toxiques. En lingots, il sert dans un certain nombre d'alliages; avec le plomb il donne la *soudure,* avec le cuivre il forme les bronzes L'alliage d'étain et de mercure se fixe au verre sous la forme d'une couche très brillante qui réfléchit la lumière et fait miroir

Le mercure se rencontre dans la nature sous la forme d'une pierre rougeâtre qui est un sulfure appelé cinabre et dont les *gisements* principaux sont en Espagne et en Californie On grille ce minerai *concassé* et, par la chaleur et l'air, le soufre brûle et le mercure se volatilise, on fait condenser ses vapeurs pour obtenir le métal liquide Le mercure a beaucoup d'usages dans les laboratoires; il y sert à la manipulation des gaz, pour les baromètres et les thermomètres, *trompes à vide* Dans l'industrie,

son emploi le plus important est dans l'amalgamation de l'argent et de l'or pour séparer ces deux métaux Le mercure *s'allie* avec presque tous les métaux; ses alliages ont reçu le nom d'amalgames. C'est le seul métal qui soit liquide à la température ordinaire. Il se solidifie à —40°, sous forme d'un solide blanc. Le mercure est un poison très violent. Absorbé à forte dose, sous forme de sels, il peut occasionner une mort rapide; absorbé lentement, sous formes de vapeurs répandues dans l'atmosphère, il occasionne un empoisonnement chronique

L'argent a été trouvé à l'état natif dans la plus haute antiquité; mais on l'extrait actuellement des minerais qui le contiennent en sulfures et en chlorures mélangés avec d'autres sulfures de plomb, d'antimoine et d'arsenic. Le traitement de ces minerais est un peu long, on les concasse, on les mélange avec du sel marin pour transformer l'argent en chlorure, on agite la boue de chlorure avec du sulfate de cuivre, puis on ajoute du mercure qui réduit le chlorure d'argent, donne du chlorure de mercure et de l'amalgame d'argent L'argent ainsi obtenu est ensuite raffiné L'argent est blanc, susceptible d'un très beau poli. Il ne s'altère pas à l'air; cependant il y brunit aux émanations sulfureuses. On l'allie à un dixième de cuivre pour augmenter sa résistance au frottement. Au moyen du courant électrique on peut déposer l'argent en une couche très mince sur les objets métalliques pour leur donner une surface brillante et inoxydable

L'or est le premier des métaux précieux par l'éclat brillant et son inaltérabilité Il est connu et apprécié depuis la plus haute antiquité On ne le rencontre qu'à l'état natif Il se présente d'ordinaire sous forme de petites paillettes ou de grains arrondis disséminés soit dans des sables d'alluvions anciennes, soit dans des roches ignées dont la désagrégation a produit ces sables d'alluvions Les minerais pauvres et pyriteux sont aujourd'hui pulvérisés et traités par une solution de cyanure de potassium L'or dissous est précipité par le zinc ou par l'électrolyse On l'extrait des sables avec du mercure L'or est le plus malléable des métaux; on le réduit par le *battage* en feuilles d'une très grande finesse qui servent à la *dorure* des objects non métalliques Les alliages d'or forment les *monnaies*

Le platine existe en sables comme l'or Il se rencontre toujours avec d'autres métaux lourds Les grains irréguliers de platine natif contiennent, outre le platine, de l'iridium, du paladium et du fer, et sont toujours mêlés à des paillettes brillantes d'osmiure d'iridium Le platine pur est un métal d'un blanc grisâtre, très mou, très ductile, très malléable et très tenace Il ne fond qu'à 1782°, c'est-à-dire qu'à la température du chalumeau à gaz d'éclairage et d'oxygène. Il se volatilise au four électrique Le platine est très poreux et s'échauffe en condensant les gaz Cette propriété est remarquable dans la mousse ou éponge de platine qui peut condenser 745 fois son volume d'hydrogène. Il détermine l'oxydation à l'air de l'alcool absolu On remplace aujourd'hui la mousse ou l'éponge de platine par du charbon, de la ponce ou de l'amiante platinés

En faisant jaillir l'arc électrique entre deux pointes de platine dans de l'eau pure, on obtient une dissolution de platine colloidal qui jouit de propriétés catalytiques remarquables, elle décompose l'eau oxygénée

## EXERCISE 15

### Analyse Qualitative

avoir pour but = to aim at
une donnée = datum
déceler = to reveal
avoir affaire à = to be dealing with
voie sèche = dry way
s'exécuter = to be performed
réactif = reagent
caséeux = cheesy, casein like
dard = tip of flame
chalumeau = blowpipe
recourbé en œillet = bent in the form of a loop
prise d'essai = sample for analysis
paillettes = scales
enduit = coating
aréole = ring, incrustation
mise en solution = dissolving
éliminer en pure perte = to unnecessarily eliminate
sous-produit = by-product
faire partie de = to be part of, to enter into the composition of
fondant = flux
à peu près = about, approximately

L'analyse qualitative d'une seule substance *a* uniquement *pour but* de déterminer quels sont les éléments ou groupes d'éléments

qui entrent dans sa composition, et aussi quelles sont les formes de combinaisons dans lesquelles les éléments sont engagés

Ainsi, par exemple, l'analyse qualitative d'un calcaire nous apprendra s'il existe dans ce calcaire, à côté du calcium, des métaux tels que le magnésium, le fer, l'aluminium; s'il s'y trouve de la silice, etc. Elle nous permettra aussi de savoir si la silice est entièrement à l'état libre (quartz) ou si elle se trouve en partie à l'état de silicate, et, spécialement, à l'état de silicate d'aluminium

L'analyse qualitative d'un minerai de zinc grillé nous fera reconnaître éventuellement à côté du zinc la présence de métaux tels que l'arsenic, l'antimoine, le plomb, le cuivre, le cadmium, l'aluminium, l'argent, le calcium, le magnésium, etc , elle nous fera aussi constater l'existence du soufre et nous dira si le soufre est en totalité à l'état de sulfure, ou en partie à l'état de sulfate; elle pourra aussi nous indiquer à quel métal ou à quels métaux, zinc, calcium, plomb, magnésium, etc , le soufre est combiné

D'après l'intensité des réactions obtenues, l'analyse qualitative nous permet aussi d'identifier une substance sur laquelle nous n'avons aucune *donnée* Si, par exemple, elle nous *décèle* dans une matière, beaucoup de fer, beaucoup de soufre à l'état de sulfure et des quantités très faibles seulement d'autres métaux ou métalloïdes, nous pourrons dire que nous *avons affaire à* une pyrite

Si elle nous montre dans une matière la présence de beaucoup de carbonate de calcium, à côté de très peu de fer, d'aluminium et de silice, nous concluerons que la substance est un calcaire convenant pour la préparation de la chaux grasse. Trouvons-nous, au contraire, qu'il y a, en même temps que beaucoup de carbonate de calcium, une notable quantité de silicate d'aluminium, nous serons amenés à voir dans la matière analysée un calcaire argileux pouvant être utilisé pour la fabrication des ciments

L'analyse qualitative fait usage de réactions par voie humide et de réactions par *voie sèche* Les premières *s'exécutent* en ajoutant à la solution de la matière analysée des *réactifs* en solution qui y déterminent des précipités, des colorations ou des dégagements gazeux permettant d'identifier les divers éléments ou groupes d'éléments Les réactions par voie sèche se font sur la

matière solide sur laquelle on fait agir à une température plus ou moins élevée de l'air ou des réactifs solides qui déterminent des colorations caractéristiques, permettant d'obtenir des métaux à l'état métallique ou à l'état d'oxydes, provoquant des dégagements gazeux, etc

*Exemples de Réactions par Voie Humide* —L'addition d'ammoniaque à la solution d'un sel ferrique produira un composé brun, l'hydrate ferrique, insoluble dans l'eau.

L'addition d'un sulfure alcalin à une solution d'un sel zincique déterminera la formation d'un corps solide blanc, le sulfure zincique

L'addition d'une solution de chlorure sodique à une solution de sel argentique donnera lieu à l'apparition d'un composé blanc, *caséeux,* le chlorure argentique, soluble dans l'ammoniaque

*Exemples de Réactions par Voie Sèche* —Si l'on fond un composé de manganèse avec un mélange de carbonate et de nitrate alcalins, on obtient une masse colorée en vert par suite de la transformation du manganèse en manganate alcalin

En chauffant jusqu'à fusion une quantité, même très faible, d'un sel de cobalt avec du borax, on obtient une masse fortement colorée en bleu par suite du passage du cobalt à l'état de borate

Si l'on chauffe à haute température, sur un morceau de charbon, à l'aide du *dard* du *chalumeau,* un oxyde de plomb, celui-ci est réduit à l'état métallique, le plomb apparaît sous forme de globules malléables

Aux essais par voie sèche se rattache aussi l'examen des colorations caractéristiques que les sels de divers métaux communiquent à la flamme non éclairante de la lampe de Bunsen

*Essais à la Perle de Borax ou de Sel de Phosphore* —Le borax fondu forme une masse vitreuse, transparente, dont la composition répond à la formule $Na_2B_4O_7$, dans les mêmes conditions, le sel de phosphore (ancienne dénomination sous laquelle on désigne le phosphate ammoniaco-sodique), se transforme en métaphosphate $NaPO_3$ et forme, comme le borax, une masse vitreuse incolore

Si, après avoir produit à l'extrémité d'un fil de platine *re-*

*courbé en œillet* une petite perle de l'une ou l'autre de ces substances, on fait adhérer à cette perle quelques parcelles de certains composés métalliques, puis qu'on chauffe jusqu'à fusion dans la zone oxydante de la lampe de Bunsen, on observe après refroidissement, suivant la nature du métal, des colorations particulières dues à la formation de borates doubles ou de phosphates doubles de sodium et du métal essayé. Avec certains métaux, on peut obtenir une seconde coloration caractéristique en chauffant la perle dans la zone de réduction de la flamme

Ainsi le manganèse donne une coloration violette dans la zone d'oxydation, pas de coloration (formation de sel manganeux) dans la zone de réduction Le cobalt donne une coloration bleue dans les deux zones. Le fer donne une coloration jaune dans la zone d'oxydation, et vert bouteille dans la zone de réduction Le vanadium donne une coloration jaunâtre dans la zone d'oxydation; verte à froid, brunâtre à chaud dans la zone de réduction

Les essais à la perle de borax ou de sel de phosphore peuvent rendre certains services pour la recherche des quelques métaux qui viennent d'être indiqués, lorsque la matière analysée ne renferme que le métal cherché En cas de présence de plusieurs éléments, on est exposé à obtenir des perles dont la coloration est le résultat de diverses réactions et n'offre par conséquent plus rien de caractéristique Il arrive ainsi que la coloration due à un métal masque complètement celle que produisent les métaux qui l'accompagnent Si l'on examine, par exemple, une substance contenant à la fois du nickel et du cobalt, la coloration bleue due au cobalt masque absolument la teinte propre au nickel

*Essais sur le Charbon*—Ces essais consistent à réduire à l'état métallique les oxydes de certains métaux en les chauffant à haute température au contact d'un morceau de charbon Si l'on a affaire à des sulfures ou autres composés non directement réductibles par le charbon, on ajoute à la *prise d'essai,* dont le poids ne dépasse pas quelques centigrammes, une petite quantité de carbonate sodique sec, qui, par fusion, transforme le composé en oxyde

Pour faire un essai, on introduit la matière à essayer en mélange avec le carbonate, dans une petite cavité creusée dans un

morceau de charbon taillé en forme de parallélipipède. On chauffe ensuite à l'aide du chalumeau dont on dirige le dard sur la matière, de telle façon que celle-ci soit entourée par la zone réductrice de la flamme Après avoir chauffé quelque temps dans ces conditions, on laisse refroidir.

Suivant que l'on a affaire à un métal fusible ou non à la température de l'essai, on obtiendra des globules ou des *paillettes*; si le métal est plus ou moins volatil et donne lieu à la formation d'un oxyde non volatil (tel l'oxyde de zinc), cet oxyde se déposera sous forme d'un *enduit (aréole)* plus ou moins caractéristique sur les parties froides du charbon.

Ainsi le fer, le nickel, le cobalt, forment des paillettes, pas d'aréole. ces métaux étant infusibles à la température de l'essai L'étain forme des globules, fondant vers 230°. Le plomb, le bismuth, l'antimoine, forment des globules malléables et aréoles jaunes Le zinc est volatilisé; aréole d'oxyde, jaune à chaud, blanche à froid. L'arsenic ne forme ni métal, ni aréole, l'oxyde étant volatil, mais une odeur d'ail est facilement observée Il est clair que les métaux qui ne sont pas réductibles dans les conditions de l'essai, c'est-à-dire les métaux alcalins et alcalino-terreux, le chrome, l'aluminium et le manganèse, ne peuvent être décélés par ce procédé.

*Analyse Spectrale*—Les spectres des lumières émises par les corps solides portés à l'incandescence sont continus Ainsi, par exemple, si l'on examine le spectre de la flamme d'une lampe, dont le pouvoir éclairant est produit par des particules de carbone libres incandescentes, on constate que ce spectre est formé par la succession des couleurs que l'on observe dans le spectre solaire, sans interposition de raies noires

Au contraire, si le spectre est dû à la lumière émise par un gaz ou une vapeur portée à l'incandescence, il se réduit à quelques raies brillantes, dont la couleur et l'intensité dépendent de la nature du gaz ou de la vapeur Entre ces raies, dont la position est invariable pour un corps déterminé, s'étendent des bandes obscures Il résulte de ceci, que si l'on volatilise dans la flamme de la lampe de Bunsen des sels de différents métaux, les spectres formés par les lumières émises par les vapeurs ainsi produites

seront caractérisés pour chaque métal par des raies spéciales. En admettant même que deux éléments donnent des raies de même couleur, la position de ces raies dans le spectre permettra encore de déterminer auquel de ces éléments on a affaire

On peut donc, par l'examen des spectres d'émission fournis par la lumière des vapeurs des différents sels métalliques, identifier les métaux.

On produit parfois aussi des spectres d'une autre nature auxquels on a donné le nom de spectres d'absorption, et dont la formation repose sur les faits suivants. Lorsqu'une lumière blanche (donnant par conséquent un spectre continu) traverse une solution ou un verre coloré, certains rayons, dont la nature dépend de la teinte du milieu coloré, sont absorbés Le spectre est donc interrompu par une série de raies ou de bandes obscures correspondant aux rayons absorbés

*Mise en Solution des Matières à Analyser*—Il est rare qu'un produit naturel ou fabriqué puisse être dissous par la seule action de l'eau Le cas se présente pour certains sels alcalins soudes, potasses, chlorure et sulfate de soude, etc ; mais, en général, des dissolvants plus énergiques sont nécessaires

On placera dans un tube à réaction quelques centigrammes de la substance et on fera agir successivement l'acide chlorhydrique dilué de deux fois environ son volume d'eau, l'acide chlorhydrique concentré, l'eau régale Dans les essais de dissolution faits avec des acides concentrés, il faut se borner à chauffer modérément afin de ne pas expulser le réactif avant qu'il ait eu le temps d'agir Faire bouillir de l'acide chlorhydrique concentré ou de l'eau régale, c'est *éliminer en pure perte* l'élément actif, acide chlorhydrique ou chlore, et par conséquent, dans de nombreux cas, retarder, au lieu d'accélérer, l'attaque de la matière

Dans l'attaque par les acides, nombre de substances (minéraux et minerais, *sous-produits* d'industries métallurgiques et autres, etc ), laissent en se dissolvant, un résidu très souvent de nature siliceuse ou argileuse Ce résidu est parfois plus ou moins coloré, alors que cependant la dissolution de la matière proprement dite est complète. Ces résidus qui, parfois, renferment du sulfate de

baryum, peuvent être désagrégés à leur tour au moyen des carbonates alcalins

Les alliages sont généralement mis en solution par l'acide nitrique. L'acide chlorhydrique, en effet, ne dissout que peu ou pas plusieurs des métaux qui *font* ordinairement *partie des* alliages industriels, c'est-à-dire le cuivre, le plomb, le mercure, le bismuth, l'antimoine, le nickel, etc. L'argent, l'or, le platine ne sont pas non plus attaqués par cet acide. Au contraire, l'acide nitrique dissout presque tous les métaux, à l'exception de l'or et du platine sur lesquels il n'a pas d'action.

Nombre de substances sont insolubles ou partiellement solubles seulement dans les acides d'emploi courant; c'est le cas pour beaucoup de silicates, les argiles, par exemple, et pour divers oxydes d'aluminium, de chrome, etc. Dans les cas de ce genre, la matière doit être désagrégée par voie sèche, c'est-à-dire en recourant à l'emploi d'un *fondant* Pour les matières silicatées, ce fondant sera de prèférence le carbonate sodico-potassique $NaKCO_3$ seul ou additionné d'un peu de nitrate potassique s'il y a des éléments susceptibles d'être oxydés (oxydes ferreux, manganèse, chrome, etc.). Dans le cas d'oxydes réfractaires à l'action des acides, on peut faire usage du sulfate acide de potassium $KHSO_4$ Signalons aussi l'emploi très répandu du peroxyde de sodium $Na_2O_2$ pour certaines désagrégations s'accompagnant de l'oxydation de l'un ou l'autre élément Les silicates indécomposables par les acides peuvent être désagrégés en les fondant avec un carbonate alcalin si l'on n'a pas à doser les métaux alcalins Mais l'emploi des fondants alcalins est évidemment impossible lorsqu'on doit doser les alcalis dans une substance inattaquable par les acides. Dans ce cas on fait agir sur une pareille substance de l'acide fluorhydrique, la silice est transformée en fluorure de silicium (gaz), les bases passent à l'état de fluorures qui peuvent s'unir à du fluorure de silicium pour donner des fluosilicates. Si l'attaque se fait en présence d'acide sulfurique, les fluosilicates seront décomposés; le fluorure de silicium se dégagera et les bases seront finalement transformées en sulfates

Une fois la dissolution effectuée, on procède à l'analyse qualitative suivant les méthodes classiques si les métaux sont *à peu*

*près* en proportion égale et qui permettent de travailler sur 0, 5 à 1 gramme de matière Mais l'analyse est souvent, dans la réalité, une opération très délicate par suite des différences qui s'observent dans la proportion pour laquelle les constituants d'une matière donnée interviennent dans sa composition

## EXERCISE 16

### Généralités sur les Méthodes de Dosage

méthode de dosage = quantitative method
doser = to determine, to run
teneur = percentage, contents
méthode pondérale or par pesée = gravimetric method
précipité = precipitate
sécher à l'étuve = to dry in the oven
mettre en réserve = to put aside
creuset de porcelaine taré = tared porcelain crucible
cendres = ashes
exsiccateur = desiccator
lavage = washing
entacher d'erreurs = to vitiate
toile de platine = platinum gauze
terme = end point
liqueurs titrées = standardized solutions
pour autant que = in so far as, as long as
matras jaugé = calibrated flask
trait de jauge = calibration mark
col = neck
jaugeage par emplissage = graduation for contents
jaugeage par écoulement = graduation for delivery
d'usage courant = in common use
rétréci = constricted
tube de verre effilé = drawn out piece of glass tubing
pince = clamp spring
robinet en verre = glass stopcock
point de repère = reference point, guiding point
l'allure des réactions = direction taken by the reactions, type of reactions
titrage = titration
virer = to turn, to shift
empois d'amidon = starch paste
titrage en retour = back titration
solutions types = standardized solutions

*Doser* un élément ou un groupe d'éléments c'est déterminer la proportion pour laquelle cet élément ou groupe d'éléments intervient dans la composition d'une substance donnée. Lorsqu'on a affaire à des matières solides, le résultat est généralement rapporté à 100 parties de matière sèche Le nombre trouvé exprime la *teneur* de la substance en tel ou tel élément ou groupe d'éléments dosé

Doser le fer dans un minerai de fer c'est déterminer combien

100 parties de ce minerai sec renferment de fer. Le nombre trouvé est la teneur en fer du minerai. Doser l'acide, ou plus exactement l'anhydride phosphorique dans un phosphate calcique, c'est établir combien de $P_2O_5$ 100 parties de ce phosphate contiennent Le nombre trouvé est le teneur du phosphate en $P_2O_5$

Dans le cas de matières liquides, dans les analyses d'eaux, par exemple, les résultats des dosages sont d'ordinaire rapportés au litre.

Il existe un assez grand nombre de méthodes de dosage Les principales sont la méthode pondérale ou par pesée, la méthode volumétrique ou titrimétrique, la méthode gazométrique, la méthode colorimétrique

*Méthode pondérale ou par Pesée*—Dans cette façon d'opérer, on amène le constituant que l'on veut doser, sous une forme de combinaison bien définie se prêtant bien à la pesée La pesée effectuée, on calcule la proportion pour laquelle le constituant à doser entre dans le poids de la matière constaté

Par exemple soit à doser l'argent dans un alliage d'argent et de cuivre La substance étant dissoute dans l'acide nitrique, on ajoute de l'eau, puis de l'acide chlorhydrique qui transforme l'argent en chlorure, celui-ci étant insoluble apparaît à l'état solide Cette formation d'un corps insoluble par l'action d'un réactif porte le nom de précipitation et le corps formé est appelé *précipité*

Lorsque le chlorure d'argent est bien déposé, on le recueille sur un filtre en papier (papier spécial, lavé à l'acide fluorhydrique et pouvant être considéré comme pratiquement exempt de matières fixes), on le lave jusqu'à ce que[1] tous les éléments solubles qui l'imprègnent aient été éliminés, en un mot jusqu'à ce qu'il soit tout à fait pur, ensuite on le *sèche à l'étuve* à la température de 100°-110° Lorsqu'il est sec, on le détache du filtre, et on le *met en réserve* Le filtre est incinéré dans un *creuset de porcelaine taré* Comme ce filtre a pu retenir quelques parcelles de chlorure d'argent et comme, d'autre part, celui-ci est aisément

[1] jusqu'à ce que = until

réductible par le carbone produit pendant l'incinération, il y a lieu de[1] retransformer en chlorure les traces d'argent réduit qui ont pu se produire Pour cela on traite les *cendres* par quelques gouttes d'acide nitrique qui ramènent le métal à l'état de nitrate; on évapore l'excès d'acide, puis on ajoute une ou deux gouttes d'acide chlorhydrique qui ramènent le nitrate à l'état de chlorure Après avoir évaporé l'excès d'acide chlorhydrique, on ajoute au contenu du creuset le précipité mis en réserve et on chauffe le tout jusqu'à ce que le chlorure d'argent commence à fondre On laisse ensuite refroidir le creuset sous un *exsiccateur* chargé d'acide sulfurique ou de chlorure de calcium afin d'éviter que le chlorure d'argent puisse devenir humide au contact de l'air Enfin, après refroidissement complet, on pèse le creuset et son contenu

Calcul du résultat

Soit [2]

Le poids de creuset + AgCl = 22,9046 gr
Le poids du creuset vide = 22,2168

Poids du chlorure d'argent = 0,6878 gr

D'où [3] AgCl Ag 0,6878 x

x = 0,5177 gr ou poids de l'argent contenu dans la prise d'essai de l'alliage analysé Supposons que cette prise d'essai soit de 0,7000 gr , le teneur de l'alliage en argent sera donnée par la relation·

0,7 0,5177 100 : x.

d'où x = 73,95 p 100

Au dosage par pesée proprement dit se rattache le dosage par électrolyse qui acquiert de jour en jour plus d'importance Certains métaux sont plus ou moins aisément séparés à l'état élémentaire de leurs solutions salines par l'action du courant électrique Avec un certain nombre d'entre eux, on réussit, en opérant dans des vases en platine et dans des conditions déterminées, à obtenir le dépôt électrolytique sous forme d'un enduit

[1] il y a lieu de = it is necessary
[2] soit = for example
[3] d'où = hence

cohérant, adhérant en tous ses points au platine et pouvant être lavé sans se détacher Lorsque ces conditions sont réalisables, le dosage électrolytique est supérieur à tout autre, parce qu'il permet d'obtenir dans une opération et à un grand état de pureté l'élément que l'on veut doser, sans que l'on ait à passer[1] par des précipitations, filtrations, *lavages,* calcinations et pesées, autant d'opérations que la moindre négligence peut *entacher d'erreurs* plus ou moins graves

Les électrodes dont on fait usage en électrolyse sont toujours en platine, leurs formes et dimensions sont assez variables Le plus souvent l'électrode négative ou cathode qui doit recevoir le dépôt métallique est formée par une mince feuille de platine, ou par un cône ou un cylndre en feuille ou en *toile de platine* L'électrode positive qui, en général, ne sert qu'à fermer le circuit, est habituellement formée d'une lame ou d'un fil de platine contourné sur lui-même

Le lavage du dépôt métallique se fait à courant interrompu ou à courant fermé suivant les cas Si l'on a, par exemple, électrolysé du cuivre en solution nitrique, le dépôt doit être lavé à courant fermé, sinon l'acide nitrique contenu dans le liquide, pourrait redissoudre, au moins en partie, le cuivre précipité Par contre, on peut laver à courant interrompu un dépôt de nickel ou de cobalt obtenu en solution ammoniacale, l'ammoniaque n'exerçant pas d'action dissolvante sur ces métaux

Après avoir lavé l'électrode avec de l'eau distillée, on fait deux ou trois lavages à l'alcool, et un lavage à l'éther, puis on sèche à l'étuve pendant quelques instants à une température très modérée (environ 50°)

On se sert, dans ces derniers temps, de dispositifs spéciaux permettant de maintenir en mouvement les solutions à électrolyser, pendant le passage du courant Cette façon d'opérer, actuellement admise dans la pratique, offre le grand avantage d'abréger très notablement la durée des électrolyses

*Méthode Volumétrique ou Titrimétrique* —Dans cette méthode, très importante en pratique, au lieu de déterminer directement,

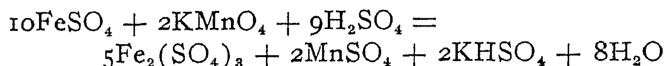
[1] sans que l'on ait à passer = without having to go through

comme dans la précédente, le poids précipité ou une modification de poids en rapport avec l'élément à doser, on détermine, au contraire, le poids de réactif nécessaire pour produire ce précipité ou une réaction nette entre le constituant à doser et le réactif employé Connaissant ce poids, il est facile de calculer, en se servant de l'équation chimique exprimant la réaction, le poids correspondent de l'élément à doser

En fait, afin de pouvoir ajouter plus facilement par petites portions successives, ce qui est très important surtout lorsqu'on approche du *terme* de la réaction, on se sert d'une solution du réactif de concentration connue Il suffit alors de mesurer le volume de solution strictement nécessaire pour amener sous une forme de combinaison déterminée l'élément ou le groupe d'éléments à doser pour connaître par là même le poids de réactif employé Ce poids s'obtient donc, en somme, en déterminant un volume, d'où le nom de méthode volumétrique La concentration de la solution de réactif s'appelle titre, d'où le nom de méthode titrimétrique ou par *liqueurs titrées*

On conçoit, d'après la définition qui vient d'être donnée, que le procédé n'est applicable que *pour autant que* la réaction soit bien nette et complète entre le réactif et l'élément à doser, il faut, en outre, que le terme puisse en être apprécié exactement, afin que l'on ne soit pas exposé à employer un excès de réactif

Par exemple. Soit à doser un sel ferreux par une solution de permanganate de potassium Le permanganate potassique agit sur les sels ferreux qu'il transforme en sels ferriques La réaction est nette et complète, se passe conformément à l'équation suivante.



$$10FeSO_4 + 2KMnO_4 + 9H_2SO_4 = 5Fe_2(SO_4)_3 + 2MnSO_4 + 2KHSO_4 + 8H_2O$$

Comme on le voit, deux molécules de permanganate dont le poids = 313,95 oxydent 10 atomes de fer, ou 555 gr.

D'autre part, le terme de la réaction peut être facilement apprécié En effet, en dehors du permanganate, tous les sels qui interviennent dans la réaction sont pratiquement incolores, au moins en solution, le permanganate, au contraire, est doué d'un

très grand pouvoir colorant, les moindres traces de ce sel sont reconnaissables à la coloration violacée qu'elles communiquent à l'eau Par conséquent, si l'on ajoute à une solution acide de sel ferreux, une solution de permanganate, tant que celui-ci se décolorera, c'est qu'il restera du sel ferreux à oxyder Dès que le liquide prendra une teinte rose persistante, on pourra dire que tout le fer est oxydé à l'état ferrique, la coloration rose ne pouvant provenir que d'une trace de permanganate en excès.

Si la concentration de la solution de permanganate est connue et si l'on a noté le volume consommé, on peut aisément, en se basant sur l'équation donnée plus haut, calculer la quantité de fer à doser X

La méthode de dosage par liqueurs titrées exige l'emploi d'un certain nombre d'instruments *jaugés* ou gradués pour la température de 15° C Citons ici les *matras jaugés* qui ont habituellement une capacité de 1000, 500, 250 ou 100 centimètres cubes et qui portent un ou deux *traits de jauge* gravé sur le *col* Dans ce dernier cas, le trait inférieur correspond au *jaugeage par emplissage,* le trait supérieur au *jaugeage par écoulement*

Ces matras sont utilisés pour amener à un volume déterminé les solutions titrées des réactifs ou les solutions qui contiennent le corps à doser, lorsqu'on veut pouvoir faire plusieurs essais sur des parties aliquotes de la solution

Pour prélever des volumes déterminés d'une solution titrée ou de la solution contenant le corps à doser on se sert de pipettes jaugées Les pipettes portent au-dessus de la partie cylindrique un trait de jauge Les capacités des pipettes jaugées *d'usage courant* sont de 100, 50, 25, 10 et 5 centimètres cubes

Enfin, les solutions titrées qu'on doit laisser couler dans la solution du corps à doser se placent dans des burettes graduées Ces burettes sont de divers modèles Le type habituel est la burette de Mohr, sorte de tube cylindrique de 15 millimètres environ de diamètre, ouvert à la partie supérieure et *rétréci* à la partie inférieure On adapte à cette dernière un bout de tuyau de caoutchouc dans lequel est engagé un morceau de *tube de verre effilé* Une *pince,* qui s'adapte sur le caoutchouc permet de régler l'écoulement du liquide. Parfois, la fermeture de la

burette se fait à l'aide d'un *robinet en verre* soudé à la partie inférieure

Pour procéder aux lectures, on prend comme *point de repère* le plan passant par le dessous ou par le bord supérieur du ménisque

*Préparation des Solutions Titrées*—Lorsqu'on a affaire à des substances qui peuvent être obtenues aisément à l'état pur et qui ne sont ni efflorescentes, ni déliquescentes, la préparation des solutions titrées est très simple Il suffit de peser un poids déterminé de substance, qu'on dissout ensuite dans l'eau; la solution, introduite dans un matras jaugé est finalement amenée à un volume déterminé à l'aide d'eau distillée On peut, par exemple, obtenir de cette façon des solutions titrées de nitrate d'argent, de chromate potassique, d'acide oxalique, de permanganate potassique

Dans le cas de substances telles que les hydrates potassique et sodique, et autres que l'on ne peut obtenir pures dans le commerce, les choses sont plus compliquées On pèse une quantité de substance telle qu'elle correspond à une concentration supérieure à celle que l'on veut obtenir, on la dissout dans l'eau, puis on détermine la concentration de la solution, on calcule de combien cette solution doit être diluée pour avoir la concentration qu'on désire finalement lui donner

L'expression 'titre' appliquée aux solutions employées dans l'analyse titrimétrique peut être prise dans différentes acceptions Le titre d'une solution peut exprimer la quantité de matière existant dans 1 centimètre cube de la solution Il peut aussi être exprimé en fonction de la substance avec laquelle la solution titrée est destinée à réagir.

On appelle solutions normales celles qui renferment par litre un poids d'une matière donnée en rapport numérique simple avec le poids moléculaire de cette matière rapporté à l'hydrogène pris pour unité. Le poids moléculaire de l'acide chlorhydrique est 36, 45, une solution titrée d'acide chlorhydrique sera normale si elle renferme par litre un poids d'acide chlorhydrique égal à ce poids moléculaire, elle sera déci-normale, centi-normale, si elle renferme le dixième ou le centième du poids normal X

Pour certaines substances, le poids normal varie d'après l'*allure des réactions* dans lesquelles ces substances interviennent

Le *titrage* est dit direct lorsque, par un phénomene quelconque, apparition ou disparition d'une coloration, modification d'une teinte, cessation de formation de précipité, etc., on peut évaluer directement, en une seule opération, le terme de l'essai Par exemple, lorsqu'on dose l'acide oxalique par une solution titrée de permanganate, celui-ci se décolore tant que l'acide oxalique n'est pas entièrement oxydé Lorsque l'oxydation est complète, une dernière goutte de la solution de permanganate colore le liquide en rose, parce que cette goutte ne trouve plus d'acide oxalique avec lequel réagir. La coloration rose marque directement le terme de l'essai.

Lorsqu'on dose un acide par une solution titrée alcaline, ou un alcali par un acide titré, le terme de l'essai peut aussi se marquer directement en introduisant dans le liquide avant le titrage quelques gouttes d'un indicateur tel que la teinture de tournesol, la phtaléine du phénol, l'Orangé III, dont la teinte varie suivant que le liquide est acide ou alcalin.

Si l'on a, par exemple, à doser l'acide contenu dans une solution d'acide chlorhydrique, on ajoute quelques gouttes d'une solution de phtaléine de phénol qui ne colore pas le liquide; on laisse ensuite couler une solution titrée d'hydrate de sodium ou de potassium qui réagit avec l'acide Tant que tout l'acide n'a pas réagi, la solution reste incolore, mais dès que la réaction est achevée ,une goutte de solution d'hydrate alcalin rend le liquide alcalin et une coloration rouge violacée apparaît, ce qui indique directement le terme de l'essai Dans le cas de l'Orangé III, la solution acide est rouge, quand la réaction avec l'hydrate alcalin est terminée, une goutte de l'hydrate fait *virer* la teinte rouge au jaune Ce virage indique le terme de l'essai.

Dans certains cas, il peut être plus ou moins difficile d'estimer le moment auquel la réaction entre le réactif et la matière à doser est achevée. Dans ce cas, on ajoute un excès de réactif et on évalue ensuite l'excès à l'aide d'une seconde solution titrée contenant une substance qui peut réagir dans un sens bien déterminé avec cet excès de réactif, et dans des conditions telles que l'on

puisse apprécier le moment où l'excès est consommé. Par exemple, le fer se trouvant à l'état de chlorure ferrique peut être dosé par une solution titrée de chlorure stanneux qu'on ajoute en excès, et l'excès déterminé au moyen d'une solution titrée d'iode qui réagit avec le chlorure stanneux. Le terme de cette dernière réaction est indiqué en ajoutant quelques centimètres cubes d'*empois d'amidon* qui produit avec l'iode une coloration bleue très manifeste Ce mode opératoire porte le nom de *titrage en retour*

*Méthode Gazométrique.*—L'analyse gazométrique permet de déterminer la proportion d'un constituant d'un corps qui peut être solide, liquide ou gazeux, par le mesurage d'un volume gazeux

Ainsi, par exemple, la proportion de carbonate de calcium dans un calcaire peut être établie en mesurant le volume de l'anhydride carbonique qui se dégage lorsqu'on décompose ce calcaire par l'acide chlorhydrique Le volume étant connu, on peut calculer le poids correspondant et déduire de ce poids la quantité de $CaCO_3$, puisque une molécule de $CO_2$ représente une molécule de $CaCO_3$

*Méthode Colorimétrique*—Comme l'indique son nom, cette méthode permet de doser un élément en se basant sur l'intensité de la coloration que présente l'un ou l'autre de ses composés en solution, pour autant que cette intensité soit proportionnelle à la quantité de matière dissoute

La méthode, qui n'est applicable que dans un certain nombre de cas, n'est utilisée que pour l'évaluation de quantités de matières trop faibles pour être dosées par les autres procédés Les teintes, dont l'estimation sert de base au dosage, sont évaluées par comparaison avec les teintes de *solutions types* contenant des quantités déterminées de l'élément à doser et préparées dans des conditions telles que les résultats puissent être comparables

## EXERCISE 17.

### Généralités sur la Chimie Organique

essence de térébenthine = turpentine oil
sucre = sugar
essence de moutarde = mustard oil
formule brute = empirical formula
formule de constitution or formule développée = structural formula
série grasse = fatty series
chaîne latérale = side chain
squelette = skeleton
noyau = nucleus
radical, radicaux = radical, radicals
tenir compte de = to take into consideration
enchaînement = linking
liaison simple = single bond
groupement fonctionnel = characteristic group
composé non saturé = unsaturated compound
à partir de = starting with
terme = member
graissage = lubricating
point de fusion = melting point
se dédoubler = to break up
dissolvant = solvent
flamme fuligineuse = smoky flame
goudron de houille = coal tar

Dans toutes les substances végétales ou animales, il est un élément qu'on retrouve toujours, c'est le carbone aussi a-t-on pu dire que la chimie organique est l'étude des composés du carbone Un grand nombre de ces composés ne contiennent, comme l'*essence de térébenthine,* que du carbone et de l'hydrogène D'autres, comme l'alcool et le *sucre,* contiennent du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène Il en est enfin de quaternaires, comme la quinine, elles contiennent de l'azote, du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène

D'une manière générale, les matières organiques naturelles, bien que très variées, ne contiennent d'ordinaire dans leur grand état de complexité que quatre éléments le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, quelquefois on y trouve du soufre, comme dans l'*essence de moutarde,* ou du phosphore, comme dans la matière cérébrale. Les composés artificiels que les chimistes obtiennent par la transformation des précédents ou par la synthèse peuvent contenir un beaucoup plus grand nombre d'éléments. Ainsi, on a des substances organiques qui contiennent du chlore, du brome, de l'iode, de l'arsenic, du mercure, du zinc, etc.

Pour l'étude des composés organiques comme pour les composés minéraux, les chimistes ont deux méthodes à leur disposi-

tion: l'analyse et la synthèse. L'analyse élémentaire permet de fixer la *formule brute* d'un composé En mettant en évidence les valences des corps simples ou des radicaux, on peut, comme en chimie minérale, avoir des *formules de constitution* Les *formules développées* ont en chimie organique une grande importance, étant donné le petit nombre d'éléments qui entrent dans les composés et les isoméries nombreuses que l'on rencontre

Les hydrocarbures ou carbures d'hydrogène, et les différents corps qui dérivent du méthane $CH_4$ constituent ce qu'on appelle la *série grasse* On peut représenter les formules de ces composés soit par des chaînes longues, exemple. pentane normal, soit par des formules à *chaînes latérales,* comme l'isopentane

Mais on connaît des composés dans lesquels on admet que le *squelette* des atomes de carbone forme une chaine fermée ou *noyau,* tel le benzène Ce noyau jouit de propriétés spéciales qui ont fait ranger les carbures d'hydrogène, contenant un noyau benzénique et les corps qui en dérivent dans une autre série appelée série aromatique

Nous pouvons faire dériver du méthane tous les composés de la série grasse, et du benzène ceux de la série aromatique en remplaçant l'hydrogène de ces carbures par des corps simples ou des *radicaux* en *tenant compte de* leur valence

L'alcool méthylique $CH_3(OH)$, l'acide formique $HCO_2H$, l'éthane $CH_3$–$CH_3$ dérivent ainsi du méthane Le toluène $C_6H_5\,CH_3$, l'acide benzoique $C_6H_5CO_2H$ dérivent de même[1] du benzène

Quand un atome de carbone se trouve relié à 4 atomes ou groupes d'atomes de même nature, on peut le concevoir comme occupant le centre d'un tétraèdre régulier dont les sommets sont occupés par les 4 atomes Cette hypothèse, qui conduit à l'hypothèse du carbone asymétrique, permet de représenter l'*enchaînement* des atomes de carbone par des *liaisons simples,* doubles ou triples suivant que les tétraèdres se souderont par le sommet, une arête ou une face On a ainsi les formules développées dans l'espace ou formules stéréochimiques qu'il est impossible d'indiquer par des autres plans

On connaît de nombreux cas où on est conduit à attribuer à

[1] de même = likewise

un même corps deux formules développées différentes suivant les réactions qu'il présente. Ces formules sont dites tautomères.

Les composés homologues sont ceux dont les formules diffèrent seulement par un certain nombre de fois $CH_2$, et qui jouissent de propriétés chimiques très voisines. On peut ranger les corps homologues en séries telles que chaque corps ne diffère du précédent que par $CH_2$. C'est ainsi que le méthane sera le *chef de file* d'une série homologue des carbures $CH_4$, $C_2H_6$, $C_3H_8$, etc. De même l'alcool méthylique $CH_4O$ commencera la série homologue des alcools $CH_4O$, $C_2H_6O$, $C_3H_8O$, etc.

Les propriétes chimiques caractéristiques communes à tous les corps d'une série homologue constituent ce qu'on appelle la fonction chimique. Cette fonction chimique peut être représentée pour chacun de ces corps par un groupe additionnel que l'on appelle *groupement fonctionnel*. C'est ainsi que l'alcool ordinaire s'écrira $CH_3(CH_2OH)$, l'aldéhyde $CH_3(CHO)$, l'acide acétique $CH_3(CO_2H)$, $CH_2OH$, $CHO$, $CO_2H$ étant les groupements fonctionnels de l'alcool, de l'aldéhyde et de l'acide acétique.

On appellera au contraire squelette, l'ensemble des atomes de carbone liés entre eux, qui restent inattaqués dans la plupart des réactions, et auxquels se fixent les groupements fonctionnels et les radicaux.

L'étude des corps ayant la même fonction chimique se trouve facilitée si on les range en séries homologues, car les corps d'une même série homologue ayant des propriétés chimiques analogues, l'étude détaillée d'un corps important de la série simplifie singulièrement celle des autres corps de la même série, il suffira généralement d'y insister sur les différences essentielles.

L'étude des composés organiques comprend deux parties. la série grasse dans laquelle nous trouverons les corps gras de l'organisme et la série aromatique à laquelle se rattachent les essences et en général les substances douées d'une odeur aromatique. Certaines fonctions particulières à la série aromatique ne se rencontrent pas dans la série grasse.

*Carbures d'Hydrogène*.—Le méthane, l'éthylène, l'acétylène sont les premiers termes des trois séries homologues des hydrocarbures de la série grasse, représentées par les formules géné-

rales $C_nH_{2n+2}$, $C_nH_{2n}$, $C_nH_{2n-2}$ Dans la série des carbures $C_nH_{2n+2}$ on peut, pour écrire les formules développées, admettre que deux atomes de carbone voisins n'échangent entre eux qu'une valence Cette liaison simple entre les atomes de carbone est caractéristique des carbures saturés.

Dans les autres séries, les valences du carbone ne sont plus satisfaites si l'on adopte la même convention, et comme ces corps existent cependant à l'état libre, on est conduit à les représenter par des formules où il peut exister entre les atomes de carbone des liaisons doubles et triples On remarquera aussi que ces doubles ou triples liaisons, caractéristiques des *composés non saturés* peuvent dans les réactions d'addition être remplacées par des liaisons simples, et on retombera alors sur un corps appartenant à la série des composés saturés

Si nous prenons les divers carbures saturés, nous voyons qu'*à partir du* quatrième *terme* il existe plusieurs carbures ayant même formule et des propriétés différentes, c'est-à-dire des carbures isomères. Ces divers isomères peuvent être représentés par des formules développées distinctes

Les carbures, où chaque atome de carbone est relié au plus à deux autres atomes de carbone, sont dits carbures normaux Les isomères de ces carbures normaux peuvent être représentés par des formules dans lesquelles un atome de carbone est relié à trois ou quatre atomes de carbone

Les carbures d'hydrogène saturés sont homologues du méthane Tous ces carbures sont caractérisés par ce fait qu'ils ne peuvent donner naissance à aucun composé par addition Tous leurs dérivés sont formés par substitution de corps simples ou de radicaux à un ou plusieurs atomes d'hydrogène. Les premiers termes de cette série sont gazeux, ceux qui ont un poids moléculaire plus élevé, comme le pentane, sont liquides, enfin les carbures à poids moléculaire encore plus élevé sont solides, comme la paraffine Ils sont insolubles dans l'eau et résistent à l'action des acides sulfurique et azotique.

Les pétroles sont des produits naturels composés d'hydrocarbures homologues du méthane Dans l'industrie on distille les

pétroles pour en extraire l'éther de pétrole distillant de 45° à 70°, l'essence de pétrole ou essence minérale distillant de 70° à 120°, du pétrole pour lampes distillant de 150° à 280°, des huiles lourdes qui servent au *graissage* et d'où se dépose la paraffine par refroidissement La paraffine est une substance blanche, cristallisable, demi-transparente, dont le *point de fusion* varie entre 40° et 60°

Quand l'alcool $C_2H_5OH$ est chauffé avec un excès d'acide sul furique, il *se dédouble* vers 160° en éthylène $C_2H_4$ et en eau $H_2O$ Les alcools homologues de l'alcool éthylique se déshydratent de même par l'acide sulfurique concentré ou par le chlorure de zinc sous l'influence de la chaleur, et fournissent les homologues de l'éthylène, dont la formule générale est $C_n H_{2n}$ Ces carbure sont insolubles dans l'eau, un peu solubles dans l'alcool, plus so lubles encore dans l'éther; mais le meilleur *dissolvant* d'un carbure solide est un carbure liquide. Tous sont combustibles, ceux don le poids moléculaire est faible, brûlent avec une flamme claire celle des carbures élevés est *fuligineuse* Tous ces carbures son caractérisés par la facilité avec laquelle ils se combinent, par ad dition, avec les corps simples ou composés

Les hydrocarbures acétyléniques sont aussi des carbures noı saturés, aussi peuvent-ils fixer sous l'action de la chaleur 2 oı 4 atomes d'hydrogène Les carbures acétyléniques peuvent êtr transformés par l'hydrogène en présence du nickel réduit en car bures éthyléniques et en carbures saturés (M Sabatier) Ce carbures ont une tendance à se polymériser; ainsi l'acétylèn chauffé donne de la benzène

A côté des carbures saturés de la formule générale $C_n H_{2n+}$ il en existe d'autres contenant moins d'hydrogène et jouissan cependant des propriétés principales des carbures saturés. O représente ces carbures d'hydrogène par des chaînes fermées o noyaux, d'une stabilité remarquable, et qui communiquent à l molécule des propriétés spéciales Ces carbures, appelés pou cette raison carbures cycliques, et les corps qui en dérivent cor stituent la série cyclique, appelée aussi série aromatique.

Les corps de la série benzénique dérivent d'un hydrocarbur fondamental, le benzène $C_6H_6$, comme la série grasse se rattach

tout entière au méthane $CH_4$. Le benzène est retiré du *goudron de houille* ainsi que ses homologues, le toluène et le xylène. Mais les homologues du benzène peuvent aussi être obtenus par une méthode de synthèse due à Friedel et Crafts et qui consiste à faire agir sur le benzène, additionné de chlorure d'aluminium, des chlorures d'alcools de la série grasse.

Ces carbures ont à la fois les propriétés du noyau benzénique et celles des carbures de la série grasse (chaîne latérale). Ils pourront se transformer en composés nitrés et sulfonés, les groupes $AzO_2$ et $SO_3H$ étant rattachés au noyau benzénique Le chlore, le brome, pourront être substitués à l'hydrogène soit dans le noyau benzénique, soit dans la chaîne latérale, les composés ainsi obtenus donnent par saponification, les premiers les phénols et les seconds des alcools analogues aux alcools de la série grasse Les carbures substitutués s'oxydent très facilement et ce sont les chaînes latérales qui seules s'oxydent pour donner des groupements $CO_2H$, quelle que soit[1] la nature de la chaîne L'acidité de l'acide obtenu par oxydation d'un carbure indiquera donc le nombre de chaînes latérales de ce carbure

## EXERCISE 18

### Les Alcools, Les Acides et Leurs Dérivés

éther-sel = ethereal salt, ester
cétone = ketone
goudron = tar
huile = oil
graisse = fat
mise en liberté = set free
oxyhydrile = hydroxyl group
produit accessoire = by-product
bougie = candle
savon = soap
brique pilée = ground brick
acide gras = fatty acid
amidon = starch
sciure de bois = sawdust
tartre brut = crude tartar
lie des vins = argol
faire le vide = to evacuate
corps gras = fats
suif de mouton = mutton suet
rancir = to become rancid
huile siccative = drying oil
huile de lin = linseed oil
huile de noix = walnut oil
huile d'œillette = poppy oil
s'épaissir = to thicken, to become thick
colophane = rosin, colophony

Les alcools sont des corps neutres composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, capables de s'unir directement aux acides

[1] quelle que soit = whatever may be.

avec élimination d'eau, pour former des *éthers sels* Ainsi l'alcool, en agissant sur l'acide acétique, donne de l'acétate d'éthyle et de l'eau, réaction analogue à celle d'un hydrate alcalin sur l'acide acétique

Les formules des alcools dérivent de celles des carbures par substitution de OH à H dans une chaîne longue ou dans une chaîne latérale. Suivant que la substitution de OH à H porte sur un atome de carbone lié à 1, 2 ou 3 autres atomes de carbone, on a les alcools primaires, secondaires ou tertiaires Les groupements fonctionnels de ces divers alcools seront · $(CH_2OH)'$ pour les alcools primaires, $(CHOH)''$ pour les alcools secondaires, $(COH)'''$ pour les alcools tertiaires

Les alcools primaires, en s'oxydant, perdent de l'hydrogène et donnent une aldéhyde, puis un acide contenant autant d'atomes de carbone que l'alcool qui lui a donné naissance Les alcools secondaires sont caractérisés par ce fait qu'en s'oxydant ils ne donnent pas d'aldéhyde, mais un *cétone* isomère de cette aldéhyde, une oxydation plus complète les dédouble en deux acides ayant ensemble un nombre d'atomes de carbone égal à celui de l'alcool Les alcools tertiaires sous l'influence des agents oxydants, ne fournissent ni aldéhyde, ni cétone, mais donnent immédiatement des acides contenant un nombre d'atomes de carbone inférieur à celui de l'alcool

L'alcool ordinaire ou alcool éthylique est l'un des corps les plus importants de la chimie organique, il doit cette importance non seulement à ses applications multiples, mais encore à ce fait qu'il est le type d'une classe de corps auxquels on rattache aujourd'hui, soit directement, soit par leurs dérivés, presque tous les composés organiques L'alcool pur ou absolu est un liquide incolore, très fluide, d'une odeur agréable, d'une saveur caustique et brûlante C'est un dissolvant précieux d'un grand nombre de substances organiques. Soumis à des actions oxydantes lentes l'alcool perd deux atomes d'hydrogène et se transforme en aldéhyde et en eau L'action de l'air en présence du noir de platine ou celle de l'eau de chlore étendue à froid, ou enfin celle de l'acide sulfurique avec du bioxyde de manganèse ou de bichromate de potassium, produisent cette transformation Si l'action oxydant

se prolonge, ou si elle est plus énergique, l'alcool se transforme en acide acétique.

L'esprit de bois ou alcool méthylique s'obtient en distillant le bois Pendant cette distillation, il se dégage des produits volatils formés de *goudron,* d'eau, d'acide acétique, de produits ammoniacaux, et d'un liquide plus volatil qu'on a appelé esprit de bois. L'alcool méthylique pur est un liquide incolore, d'une odeur éthérée. Il se mêle en toutes proportions avec l'eau, l'alcool et l'éther, il dissout les *huiles,* les *graisses,* les résines et les matières colorantes L'alcool méthylique impur, étant moins cher que l'alcool ordinaire, est fréquemment employé à la place de celui-ci pour la préparation des vernis

Les éthers sels résultent de l'action des acides sur l'alcool avec élimination d'eau, comme les sels de la chimie minérale résultent de l'action des acides sur les hydrates métalliques, les éthers sont donc des sels de radicaux alcooliques On les appelle éthers composés quand ils proviennent des oxacides et éthers simples quand ils proviennent des hydracides

On peut former les éthers composés en chauffant directement l'acide avec l'alcool, mais la réaction, rapide avec les acides minéraux forts, est lente avec les acides organiques, qui sont des acides faibles L'éthérification est d'ailleurs limitée par la réaction inverse de l'eau sur l'éther formé, qui régénère l'alcool et l'acide On obtient une éthérification très rapide, même avec les acides organiques, si l'on ajoute au mélange d'alcool et d'acide organique à éthérifier une petite quantité d'un acide minéral, comme l'acide sulfurique. Cette rapide éthérification de l'acide organique, est due, comme l'a montré Berthelot, à ce que l'acide minéral auxiliaire dégage une grande quantité de chaleur en formant des hydrates définis avec l'eau *mise en liberté* par l'éthérification

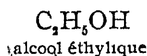
Les éthers composés se dédoublent sous l'influence prolongée de l'eau aussi doit-on les dessécher pour éviter leur décomposition lente, ils régénèrent l'alcool et l'acide; la présence des alcalis accélère cette réaction, la base se combinant avec l'acide, et l'alcool régénéré peut être isolé par distillation Cette décomposition des éthers composés par l'eau ou la potasse, qui rappelle

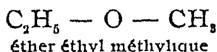
la décomposition des corps gras neutres, a reçu le nom de saponification.

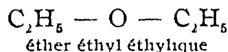
L'ammoniaque, en agissant sur les éthers composés neutres, fournit un procédé général de préparation des amides Ainsi l'ammoniaque en agissant sur l'acétate d'éthyle, donne l'acétamide et l'alcool.

Quand on fait agir un hydracide sur l'alcool il se produit un éther simple avec élimination d'une molécule d'eau Le chlorure d'éthyle, l'iodure d'éthyle, le bromure d'éthyle sont des éthers simples

Si, dans la formule d'un alcool comme $C_2H_5OH$, on remplace l'hydrogène de l'*oxhydrile* par un radical alcoolique, $CH_3$ ou $C_2H_5$, etc, on a celle d'un éther oxyde comparable aux oxydes alcalins




Ce dernier n'est autre que l'éther ordinaire qui se produit toutes les fois que l'alcool est chauffé convenablement en présence d'un corps avide d'eau, comme les acides sulfurique ou phosphorique, le chlorure de zinc ou le tétrachlorure d'étain

Le mémorable travail de Dumas et Péligot sur l'esprit de bois avait généralisé en 1835 le sens du mot alcool; une nouvelle extension lui a été donnée en 1854 par Berthelot Les éthers donnés par l'alcool ordinaire $C_2H_5OH$ peuvent être regardés comme résultant du remplacement de l'hydrogène de l'oxhydrile de l'alcool par un radical acide Ex éther acétique $C_2H_5O—COCH_3$. Berthelot a établi que dans la glycérine $C_3H_8O_3$, on peut remplacer trois atomes d'hydrogène par un radical acide, l'acétyle $C_2H_3O$ par exemple, et qu'on obtient ainsi trois éthers mono-acétine, diacétine, triacétine. La glycérine peut donc jouer trois fois le rôle d'alcool; elle donne trois éthers acétiques La découverte d'un trialcool, la glycérine, jouant trois fois le rôle d'alcool, faisait présumer l'existence de dialcools susceptibles de jouer 2 fois le rôle d'alcool. Wurtz a, en effet, démontré, en 1856, qu'il existe des dialcools, intermédiaires entre les alcools et la glycérine, et c'est pour cela qu'ils ont été nommés glycols.

La glycérine existe en grande quantité dans le commerce où on l'obtient comme *produit accessoire* dans la fabrication des *bougies* et des *savons* C'est un liquide incolore, de consistance sirupeuse et de saveur sucrée. On en emploie de très grandes quantités pour la préparation de la nitroglycérine et par suite des dynamites La dynamite, inventée en 1867 par A Nobel, ingénieur suédois, est un mélange de nitroglycérine et d'une matière inerte· le sable, la *brique pilée,* ou une terre siliceuse (kieselguhr)

*Acides* —Les acides organiques proviennent de l'oxydation des alcools ou des aldéhydes De même que ces derniers sont caractérisés par les groupements $CH_2OH$ ou CHO, les acides seront caractérisés par le groupement COOH appelé carboxyle Les mono, bi, et triacides contiendront dans leur formule une, deux ou trois fois ce groupement fonctionnel La propriété chimique fondamentale des acides organiques est de donner, comme les acides minéraux, des sels et des éthers composés qui peuvent être considérés comme résultant du remplacement de l'hydrogène du carboxyle par un atome de métal, ou par un radical alcoolique monovalent La fonction acide peut être associée dans un même corps à d'autres fonctions, on a ainsi les acides à fonction mixte (acides-alcools, acides-aldéhydes, etc )

Par exemple l'acide acétique est un acide monoacide, l'acide oxalique est biacide, l'acide lactique est un acide alcool, de même que l'acide tartrique qui est biacide et dialcoolique

L'acide acétique appartient à la série des *acides gras* On obtient de l'acide acétique brut ou pyroligneux en calcinant du bois dans des cornues. On obtient aussi l'acide acétique par l'oxydation de l'alcool au moyen d'un ferment (bacille du vinaigre) qui se développe en pellicules minces à la surface des liquides alcooliques contenant des matières azotées et des phosphates Ce ferment, en se développant au contact de l'air, prend l'oxygène pour le fixer sur l'alcool et le transformer en acide acétique

L'acide oxalique est assez répandu dans la nature Dans le laboratoire on le prépare en chauffant doucement 100 grammes de sucre ou d'*amidon* avec 800 grammes d'acide azotique et 1 litre d'eau. Quand la réaction est terminée, la liqueur laisse peu à peu déposer l'acide oxalique Dans l'industrie on l'obtient en

chauffant à 200° de la *sciure de bois* avec un mélange de potasse et de soude La masse reprise par l'eau froide laisse l'oxalate de sodium peu soluble, que l'on traite par un lait de chaux. L'oxalate de calcium est ensuite décomposé par l'acide sulfurique

L'acide tartrique droit a été découvert par Scheele en 1770, il existe à l'état de bitartrate de potassium ou de calcium dans les jus des raisins La croûte saline (tartre) qui se dépose dans les tonneaux où l'on conserve le vin est formée de bitartrate de potassium (crème de tartre) mêlé de tartrate de calcium et de matières colorantes. On dissout le *tartre brut* ou la *lie des vins* dans 1 ou 2 pour 100 d'acide chlorhydrique dilué dans l'eau bouillante, qui dissout le bitartrate de calcium et le tartrate de potassium: on filtre, puis on sature le liquide filtré par de la chaux ou par de la craie Il se précipite du tartrate neutre de calcium; ce tartrate lavé, est décomposé par l'acide sulfurique, qui donne un précipité de sulfate de calcium insoluble et une dissolution d'acide tartrique Cette liqueur filtrée est évaporée, à basse température, dans les appareils en plomb, où l'on *fait le vide*, puis mise dans des cristallisoirs où elle laisse déposer de l'acide tartrique granulé, qu'on purifie par de nouvelles cristallisations

La dissolution de l'acide tartrique est dextrogyre, elle a une saveur acide agréable L'acide tartrique donne un précipité dans l'eau de chaux et dans l'eau de baryte en excès, ce qui le distingue de l'acide malique Il ne précipite pas les dissolutions étendues de chlorure de calcium, ce qui le distingue de l'acide oxalique Ajouté en quantité suffisante dans les dissolutions des sels de cuivre (liqueur de Fehling) ou des sels ferriques, il empêche la précipitation des hydrates correspondants par la potasse

*Corps Gras*—On nomme *corps gras* des matières neutres, onctueuses au toucher, et laissant sur le papier une tache translucide qui ne disparaît pas sous l'influence de la chaleur. Les corps gras naturels sont généralement, ainsi que l'a reconnu Chevreul en 1814, des mélanges de plusieurs principes immédiats stéarine, palmitine et oléine. Les corps gras contiennent soit deux de ces principes immédiats comme l'huile d'olive (28 parties de palmitine et 72 d'oléine), soit trois comme le *suif de mouton* (20 parties d'oléine et 80 d'un mélange de stéarine et de palmitine). Les

corps gras sont moins denses que l'eau Ils sont solubles dans l'alcool, l'éther et les essences Ils s'altèrent peu à peu au contact de l'air, on dit qu'ils *rancissent* Les corps gras, solides aux températures ordinaires, sont plus ou moins mous; on les appelle, suivant leur consistance, beurre, suif, graisse Les corps gras liquides à la température ordinaire s'appellent huiles

Les *huiles siccatives,* comme *l'huile de lin, de noix, d'oeillette, s'épaississent* en absorbant l'oxygène de l'air et dégageant de l'anhydride carbonique, on les rend plus siccatives encore en les faisant bouillir avec de la litharge ou des sels de manganèse; elles sont utilisées pour la confection des vernis et des couleurs Les huiles non siccatives, comme l'huile d'olive, ne perdent pas leur limpidité en s'oxydant. Le peroxyde d'azote les change en une masse solide, par la transformation de l'oléine en une isomère solide, l'élaidine Le peroxyde d'azote ne solidifie pas les huiles siccatives

Les savons sont obtenus en saponifiant les corps gras par des bases puissantes, ce sont de véritables sels oléates, palmitates et stéarates On emploie surtout pour cette fabrication, dans le midi de la France, l'huile d'olive de qualité inférieure, ainsi que les huiles de palme, de coco, etc Les savons à base de potasse (savons mous) et les savons à base de soude (savons durs) sont seuls solubles Les savons de résine sont constitués par des mélanges de savons ordinaires et de résinate de sodium obtenu par la dissolution de la *colophane* dans de la lessive de soude

## EXERCISE 19.

### Considérations Générales sur les Travaux Pratiques de Chimie Organique

entonnoir en porcelaine = porcelain funnel
filtrer dans le vide = to filter by suction
filtre d'amiante = asbestos filter
entonnoir en verre = glass funnel
tampon de coton de verre = glass wool plug
fioles coniques pour filtrer = filter flasks
trompe à eau = water suction pump
mettre la trompe en marche = to start the pump
filtre à plis = folded filter
crever = to burst
entonnoir à filtration chaude = hot water funnel
serpentin = coil
entraînement à la vapeur d'eau = steam distillation
ballon à distiller = distilling flask
ampoule à brome = dropping funnel
réfrigérant = condenser
bouchon = stopper
bouchon de liège = cork stopper
surchauffe = superheating
bain-marie = water bath
tube latéral = side neck
brûleur = burner
bain d'huile = oil bath
réfrigérant à air = air condenser
distiller à feu nu = to distil over a free flame
soubresaut = bumping
billes de verre = glass beads
tampon = cushion
enduit = coated
étanchéité = tightness
chaudière = boiler
tube d'arrivée = inlet tube
vapeur d'eau surchauffée = superheated steam
point de fusion = melting point
point d'ébullition = boiling point
facile à monter = easy to set up
bourrelet soufflé = enlargement
verre de montre = watch glass
bon marché = cheap
contrôler = to calibrate

*Filtration*.—Pour séparer les solides des liquides, on peut employer différents dispositifs Celui à utiliser est variable avec la nature du précipité et avec la quantité de liquide à filtrer. Il faut également voir si le produit envisagé se trouve dans le solide restant sur le filtre ou dans le liquide filtré

S'il s'agit de substances de nature cristalline, filtrant bien, on arrive à les filtrer parfaitement sous pression réduite au moyen d'un *entonnoir en porcelaine* pour *filtrer dans le vide* ou bien au moyen de plaques filtrantes de Witt. Ces dernières peuvent être facilement disposées dans un entonnoir en verre de grandeur quelconque[1] Il faut toujours utiliser deux disques filtrants, celui qui touche la plaque étant plus petit de quelques millimètres.

[1] de grandeur quelconque = of any size

Comme matière filtrante on emploie ordinairement du papier à filtre. Avec des liquides alcalins ou acides on emploie du papier à filtre durci ou de la simple toile de lin lavée Pour filtrer de l'acide sulfurique concentré ou de l'acide azotique, les creusets de Gooch à *filtre d'amiante* conviennent très bien On peut aussi utiliser un *entonnoir en verre* dans lequel on place un cône en platine et par dessus un *tampon de coton de verre* ou d'amiante.

Une condition importante, à laquelle les commençants en particulier ne prêtent malheureusement pas souvent grande attention, est que les appareils utilisés, tels que *fioles coniques pour filtrer* dans le vide, entonnoirs et filtres, doivent être ou bien tout à fait secs ou bien imprégnés du liquide que l'on filtre. Si l'on a à filtrer une solution benzénique, on humecte le filtre non pas avec de l'eau, mais au contraire avec du benzène Il n'est généralement pas nécessaire d'humecter le filtre avec le solvant pur, il suffit de l'humecter avec quelques gouttes du liquide à filtrer à la condition de ne *mettre* qu'ensuite *la trompe en marche*. Les trompes servant à effectuer les filtrations ne doivent pas donner un vide trop grand, car une suction trop forte, en particulier au commencement, provoquerait une obstruction des pores du filtre par le précipité et la filtration durerait un temps excessivement long

Les substances résineuses ou les solutions chaudes concentrées qui laissent déposer facilement des cristaux, ne sont jamais filtrées au moyen de ces entonnoirs à filtrer dans le vide, car ceux-ci se bouchent facilement et ne fonctionnent plus Dans ces cas on emploie soit des filtres ordinaires, soit des *filtres à plis* La grandeur de l'entonnoir ne dépend guère que de l'importance du précipité. Pour des liquides difficilement filtrables on choisit cependant la surface filtrante la plus grande possible dans le but de gagner du temps.

Si d'un liquide on veut enlever des impuretés ou de petites quantités de substances, on peut utiliser les filtres employés en analyse quantitative ou mieux encore des filtres à plis On doit employer alors un papier filtrant rapidement; on veille à ce que le filtre même soit bien plié[1] et avant tout à ce qu'il porte une

[1] on veille à ce que le filtre soit bien plié = one must be careful that the filter paper is well folded

pointe légèrement tournée qui doit être un peu enfoncée dans la tige de l'entonnoir  Si l'on ne fait pas attention à tous ces détails, les filtres à plis filtrent bien plus lentement que les filtres ordinaires et de plus ils *crèvent* facilement

S'il s'agit de filtrer une solution saturée chaude qui, par refroidissement, dépose facilement des cristaux, il est nécessaire de chauffer l'entonnoir extérieurement. On y parvient en plaçant l'entonnoir dans un *entonnoir à filtration chaude,* l'eau servant à transporter la chaleur, ou dans un *serpentin* en tube de plomb dans lequel on fait passer de la vapeur d'eau pendant la durée de la filtration

*Distillation* —La distillation est une des meilleures méthodes que l'on puisse employer pour la purification et la caractérisation des substances, ainsi que pour la séparation des différents corps entre eux  La distillation peut se faire soit à la pression ordinaire, soit sous pression réduite  Il faut également mentionner ici l'*entraînement à la vapeur d'eau*

En ce qui concerne les appareils à employer pour effectuer la distillation, il faut se laisser guider par les substances à distiller, c'est-à-dire qu'il faut considérer si le produit distillé ou le résidu de la distillation contiendra le produit cherché

Il arrive le plus souvent que l'on est obligé de chasser par distillation le solvant d'une solution (par exemple l'éther)  L'appareil suivant convient parfaitement  Il est constitué d'un *ballon à distiller* portant une *ampoule à brome* et relié à un *réfrigérant* A celui-ci est fixée au moyen d'un *bouchon de liège* une fiole conique pour filtrer dans le vide, portant elle-même un morceau de tube de caoutchouc descendant sur la table d'expériences  Pour éviter la *surchauffe* on place dans le ballon à distiller un petit morceau de porcelaine poreuse de quelques millimètres carrés de surface (quelques petits tubes capillaires ou un petit morceau de fil de platine fin rendent les mêmes services) et l'on dispose le ballon dans un *bain-marie.* L'ampoule à brome est alors remplie, par exemple avec une solution éthérée, et l'eau est portée à l'ébullition  On fait écouler lentement le liquide en le laissant tomber goutte à goutte de façon que l'éther soit complètement condensé par le réfrigérant  Pour cela, il faut veiller à ce que la

pointe de l'ampoule à brome arrive dans le fond du ballon à distiller et non pas un peu au-dessus du *tube latéral,* car les vapeurs d'éther entraîneraient mécaniquement un peu de la solution éthérée. On n'introduit jamais de solution éthérée dans l'ampoule à brome sans enlever le *brûleur* qui se trouve sous le bain-marie ainsi que toute flamme qui se trouverait dans le voisinage immédiat.

On distille de la même façon l'éther de pétrole et le sulfure de carbone. Pour l'alcool et le benzène on peut employer un *bain d'huile* ou un bain d'eau salée au lieu d'un bain-marie.

Cette méthode de travail doit toujours être employée quand il s'agit de distiller des quantités importantes de substances facilement volatiles ou de séparer deux corps dont les points d'ébullition sont très différents. L'appareil précédent est employé par exemple pour la préparation du p. crésol. L'éther est d'abord chassé au bain-marie, l'ampoule à brome est ensuite remplacée par un thermomètre, le réfrigérant par un *réfrigérant à air* et finalement le crésol est *distillé à feu nu.*

De plus on choisit le ballon à distiller suffisamment grand pour qu'il soit rempli à la moitié ou aux deux tiers.

Pour la condensation des vapeurs il faut suivre les règles suivantes: pour les substances dont le point d'ébullition est inférieur à 110°, par conséquent l'éther, le chloroforme, le benzène, on peut employer le réfrigérant ordinaire dans lequel circule de l'eau; pour les substances dont le point d'ébullition est supérieur à 110° comme l'aniline, le nitrobenzène, le benzoate d'éthyle, on emploie ce qu'on appelle un réfrigérant à air, c'est-à-dire un large tube réfrigérant fait avec du verre mince, dont la longueur varie avec le point d'ébullition de la substance envisagée. Avec les substances dont le point d'ébullition est élevé et qui se solidifient rapidement comme le naphtalène, l'anthracène, etc., on distille lentement, directement du ballon à distiller dans le récipient employé pour recevoir le distillat.

S'il se produit de violents *soubresauts* pendant la distillation, on peut dans certains cas obtenir une ébullition régulière en jetant dans le ballon un petit morceau de fil de platine ou un très petit morceau de porcelaine poreuse. De temps à autre on peut ar-

river au même résultat en ne plaçant pas la flamme du Bunsen sous le ballon à distiller, mais en chauffant un peu sur le côté

S'il s'agit de séparer deux ou plusieurs substances dont les points d'ébullition sont voisins, on peut employer le ballon à distiller ordinaire, mais il faut faire de nombreuses distillations fractionnées. Il est préférable d'employer ce que l'on appelle des colonnes de rectification Les meilleures sont les colonnes remplies de *billes de verre* On obtient une séparation d'autant meilleure que la colonne à distiller est plus haute

*Distillation Dans Le Vide* —Un grand nombre de substances qui se décomposent facilement par distillation sous la pression ordinaire sont distillables sans décomposition sous pression réduite On doit employer la distillation dans le vide partout où cela est possible Elle permet dans bien des cas une purification parfaite de certaines substances

Le diphénylsulfone $C_6H_5$—$SO_2$—$C_6H_5$ par exemple bout à

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 376°4 | sous | 722 | millimètres | de | pression |
| 232°5 | " | 18 | " | " | " |
| 140° | " | 0 | " | " | " |

Pour les usages ordinaires, les trompes à eau donnant un vide de 12 à 15 millimètres suffisent parfaitement S'il faut avoir des pressions encore plus faibles, il faut employer des trompes à mercure ou des trompes à joints d'huile

Pour mesurer la pression on emploie des manomètres à mercure, pour des pressions très faibles on utilise les tubes de Hittorf qui commencent à s'illuminer sous une pression d'environ un millionième d'atmosphère. Le manomètre de Mac Leod convient également très bien

Une condition importante pour avoir une bonne distillation est d'intercaler un récipient entre l'appareil et la trompe, cet appareil servira pour ainsi dire de *tampon* et d'égaliseur de pression.

Pour fermer l'appareil on utilise de bons bouchons de liège, *enduits* de collodion ou de solution de caoutchouc, ou mieux encore de bouchons de caoutchouc Avant de commencer la distillation on examine l'appareil au point de vue de son *étanchéité,* on enduit au besoin encore une fois les bouchons avec de la solu-

tion de collodion au moyen d'un pinceau et l'on essaie si les récipients supportent la pression (mettre des lunettes ou travailler derrière une vitre protectrice) Il est bon, pendant la distillation, de faire passer à travers tout l'appareil un lent courant gazeux (air, acide carbonique ou hydrogène), amené au moyen d'un tube capillaire La vitesse est réglée par le diamètre du tube capillaire et peut être encore réglée par un tube de caoutchouc enfoncé sur le tube capillaire et muni d'une pince de Mohr La température est mesurée avec un thermomètre qui peut être enfoncé dans le tube de verre étiré en tube capillaire ou être placé dans une deuxième ouverture du bouchon de caoutchouc

S'il s'agit d'une simple distillation on peut utiliser un ballon à distiller comme réfrigérant récepteur Si l'on veut faire un fractionnement, on se sert d'un appareil muni de récipients récepteurs différents et de grandeur quelconque

Le chauffage du ballon à distiller ne doit jamais être fait à feu nu, mais toujours dans un bain d'huile, un bain d'air ou un bain métallique que l'on porte à une température de quelques degrés supérieure au point d'ébullition de la substance considérée

Suivant la volatilité de la substance on refroidit les récipients de condensation avec de l'eau, de la glace ou de l'air liquide

*Entraînement à la Vapeur d'Eau*—Un excellent moyen très employé pour purifier ou séparer des substances organiques est l'entraînement à la vapeur On utilise à cet effet l'appareil suivant: pour produire la vapeur, on prend une *chaudière* en cuivre dans laquelle est fixé un tube de verre qui descend presque jusqu'au fond La vapeur dégagée débouche dans un ballon contenant la substance Il est bon de disposer le ballon obliquement et de courber légèrement vers le bas le *tube d'arrivée* de vapeur pour éviter un entraînement de la substance par jaillissement Il est également bon de commencer par chauffer le ballon et, si cela est nécessaire, de continuer le chauffage pendant l'opération elle-même pour éviter une trop forte condensation de la vapeur

Si la substance qui passe fond au-dessus de 100°, on emploie un réfrigérant de Liebig et de temps en temps, en arrêtant le courant de vapeur, on enlève mécaniquement, au moyen d'un fil, la substance qui s'est séparée Avec celles qui fondent au-des-

sous de 100°, on peut faire descendre la substance en la ramenant à l'état fondu en arrêtant le courant d'eau refroidisseur.

Si la substance est difficilement entraînable à la vapeur, l'emploi de la *vapeur d'eau surchauffée* est avantageux. Dans ce but on intercale entre la chaudière et le ballon un serpentin en cuivre chauffé au moyen d'un fort brûleur, serpentin dans lequel on fait passer la vapeur

*Détermination du Point de Fusion*—Parmi les nombreux appareils plus ou moins compliqués inventés dans ce but, le suivant se recommande comme étant le meilleur, il est *facile à monter*, il n'est pas onéreux et enfin il fournit de bons résultats

Il est constitué par un ballon à fond rond de 50 centimètres cubes de capacité, rempli jusqu'à la moitié environ par de l'acide sulfurique concentré Dans celui-ci plonge un tube à essai qui est maintenu par un *bourrelet soufflé* Ce tube à essai contient suffisamment d'acide sulfurique pour que le réservoir du thermomètre soit complètement recouvert Le niveau de l'acide dans les deux récipients doit être à peu près le même La substance est contenue dans de petits tubes que l'on étire dans un tube de verre

La substance est pulvérisée dans un *verre de montre* et introduite dans le tube en donnant des chocs sur le tube ou au besoin en comprimant au moyen d'un fil de platine fin ou d'un fil de verre La hauteur de la colonne de substance doit être de 1,5 à 2 millimètres Il est superflu d'assujettir le petit tube contenant la substance au thermomètre, car l'adhérence les maintient suffisamment

L'acide sulfurique se colore peu à peu en brun par suite de la chute de substance organiques (poussière, etc) En y introduisant un petit cristal de salpêtre il redevient complètement clair par chauffage

On peut, en général, avec cet appareil, en employant l'acide sulfurique comme liquide transmettant la chaleur, déterminer le point de fusion de substances fondant jusqu'à 280° environ. Pour des corps fondant à température plus élevée (jusqu'à 360°), on remplace l'acide sulfurique par de l'huile de vase-

line bouillant à haute température, ou bien encore par une dissolution de bisulfate de potassium dans de l'acide sulfurique concentré

Pour déterminer le point de fusion, on chauffe rapidement le bain jusqu'à une température inférieure de 20° environ à celle pour laquelle la fusion se produit, on diminue ensuite la flamme et l'on fait monter lentement la température S'il s'agit de comparer deux substances obtenues par des méthodes différentes, on procède à l'essai par mélange. Pour cela on broie quelques grains des deux substances de façon à les mélanger intimement et l'on détermine le point de fusion du mélange Une diminution notable du point de fusion indique que les deux substances sont différentes

Les thermomètres ordinaires *bon marché* ne sont sensiblement exacts que jusqu'à des températures de 250° à 300° On les *contrôle de* temps en temps en déterminant le point d'ébullition de substances connues. Pour cela on utilise l'eau jusqu'à 100°, au-dessus, le benzoate de méthyle, le naphtalène et l'anhydride phtalique jusqu'à 285°

Pour des déterminations exactes de points de fusion et de points d'ébullition, on utilise ce qu'on appelle des thermomètres normaux Il faut également les contrôler de temps en temps

## EXERCISE 20

### Préparation de Substances Organiques.

réfrigérant à reflux = reflux condenser
chasser par distillation = to drive over by distillation
entonnoir à décantation = separatory funnel
flamme éclairante = smoky flame
fusion à la soufflerie = sealing with the blast
ballon taré = tared flask
rendement = yield
iodure d'alcoyle = alkyl iodide
goulot = neck of flask
crochet = hook
toile métallique = gauze
louche = turbidity
hotte = hood
étain en grenaille = granulated tin
amorcer = to prime, to start the reaction
entraîner à la vapeur = to steam distil
prise d'essai = sample for analysis
acide acétique cristallisable = glacial acetic acid
se prendre en une masse cristalline = to solidify to a crystalline mass
débit d'eau = flow of water
additionner de = to treat with
tournure de zinc = zinc turnings
glace pilée = crushed ice
conserve = battery jar
acide brut = commercial acid
papier iodoamidonné = starch iodide paper

### Iodure de Méthyle

Dans un ballon de 150 centimètres cubes environ on introduit 5 grammes de phosphore rouge et 40 centimètres cubes d'alcool méthylique, et l'on ajoute par petites portions 50 grammes d'iode pulvérisé, l'iode doit être ajouté en trois quarts d'heure. Pendant l'introduction de l'iode, le ballon est agité de temps à autre et est refroidi par immersion dans l'eau froide. Lorsque tout l'iode a été ajouté, le ballon est muni d'un *réfrigérant à reflux* et chauffé au bain-marie pendant une heure. Le chauffage doit être surveillé attentivement, de façon que le liquide ne bouille pas trop fort. Lorsque le temps indiqué est écoulé, le ballon toujours réuni au réfrigérant, est bien refroidi par immersion dans l'eau froide, et l'iodure de méthyle formé est *chassé par distillation* au bain-marie dans l'appareil que représente la figure. L'extrémité du réfrigérant plonge dans de la glace broyée qui empêche une vaporisation de l'iodure de méthyle qui est très volatil.

Quand tout est passé, ce que l'on reconnaît facilement à ce qu'il ne se condense plus aucune goutte huileuse dans le réfrigé-

rant, on enlève le tube courbé en forme d'U et l'on ajoute au distillat quelques gouttes de lessive de soude pour dissoudre l'iode entraîné. L'iodure de méthyle est alors séparé avec soin de la couche aqueuse dans *un entonnoir à décantation,* et on le fait couler dans un petit ballon à fond plat de 50 centimètres cubes. Ce ballon doit être sec Par addition de 3 grammes environ de chlorure de calcium fondu, l'iodure de méthyle un peu trouble devient rapidement complètement limpide et anhydre. On peut directement le faire écouler dans un ballon taré ou au besoin le filtrer à travers un petit filtre

Le rendement s'élève à 50 grammes, le point d'ébullition est 42°,8.

S'il s'agit maintenant de préparer l'iodure d'éthyle, on opère exactement de la même façon en employant cette fois l'alcool éthylique Puisque l'iodure d'éthyle bout à une température plus élevée, on doit, après que la majeure partie est passée par chauffage au bain-marie, distiller les dernières portions en chauffant avec une *flamme éclairante*

L'iodure d'éthyle bout à 72°,2 Ces deux substances étant très volatiles, il faut les conserver dans des récipients bien fermés Le mieux est de les verser dans des flacons à long col, en verre mince, que l'on peut facilement fermer par *fusion à la soufflerie.* L'introduction des iodures d'alcoyle par le col étroit s'effectue au moyen d'un tube à essai étiré en forme d'entonnoir.

### Bromure d'Éthyle

Dans un ballon à fond rond jaugeant 200 à 300 centimètres cubes, on place 10 grammes de phosphore rouge et 90 centimètres cubes d'alcool éthylique Le ballon est muni d'un réfrigérant à reflux à l'ouverture supérieure duquel est placée une ampoule à brome contenant 20 centimètres cubes de brome. (N. B—Entre la tige de l'ampoule à brome et les parois du réfrigérant, il faut laisser un espace suffisant pour permettre l'égalisation de la pression, aussi l'ampoule à brome ne doit-elle pas être fixée au réfrigérant par un bouchon).

On fait tomber le brome lentement, goutte à goutte, en en réglant l'addition de façon que le contenu du ballon reste chaud Si

la réaction devient trop vive, on refroidit en immergeant dans l'eau froide Lorsque tout le brome a été ajouté, on abandonne le mélange à lui-même pendant une heure, et l'on chauffe au bain-marie jusqu'à disparition des vapeurs de brome Le bromure d'éthyle formé est distillé au bain-marie au moyen de l'appareil décrit pour l'iodure de méthyle, et on le recueille sous de la glace assez finement broyée Lorsque la distillation est terminée, on alcalinise faiblement avec un peu de lessive de soude, on verse dans un entonnoir à décantation et on laisse les deux couches se séparer Le bromure d'éthyle est alors mis dans un ballon, séché avec du chlorure de calcium fondu (le ballon doit être muni d'un bouchon de liège fermant bien) et transvasé dans un *ballon* de Wurtz de 100 centimètres cubes *taré*, on le distille dans ce ballon après détermination du *rendement* brut

Il faut veiller à ce que le réfrigérant soit absolument sec[1] et à ce que le récipient récepteur soit bien refroidi avec de la glace Le ballon n'est pas chauffé à feu nu, mais au bain-marie à 50° Entre 38° et 40° passe tout le bromure d'éthyle Le rendement s'élève à 75 grammes, mais il diminue dès que l'on ne refroidit pas avec suffisamment de soin, il en est de même quand on abandonne le bromure d'éthyle pendant longtemps en vase ouvert, ce qui provoque une volatilisation partielle de la substance

Le bromure d'éthyle est conservé dans les mêmes flacons que les *iodures d'alcoyle*

## Ether

Pour préparer l'éther on utilise l'appareil suivant un ballon à fond rond de 500 centimètres cubes de capacité à large *goulot* est bouché avec un bouchon de liège à trois trous, le bouchon de liège doit être pressé et présenter le moins possibles de pores; s'il ne semble pas suffisamment étanche, il faut l'enduire d'une solution de collodion avant de commencer l'expérience Le bouchon porte: 1° le thermomètre, 2° un tube courbé en forme d'U, 3° une ampoule à brome dont l'extrémité est étirée en un tube capillaire et recourbée en forme de *crochet*.

[1] Il faut veiller à ce que le réfrigérant soit sec = one must take care that the condenser be dry

Au tube en U est joint un réfrigérant qui est relié de son côté à une fiole conique pour filtrer dans le vide. Celle-ci porte un long tube de caoutchouc et, ce que la figure ne représente pas, est refroidi extérieurement par de la glace.

Dans le ballon on met 90 centimètres cubes d'alcool éthylique, et on ajoute avec précaution, en agitant et en refroidissant avec de l'eau, 100 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré. Après que l'ampoule à brome a été chargée d'alcool de façon que la tige en soit complètement remplie, l'appareil est remonté. Il faut veiller à ce que le réservoir du thermomètre, ainsi que la pointe de l'ampoule à brome plongent dans le liquide On chauffe à 140° en utilisant une *toile métallique,* et à cette température, on fait arriver l'alcool goutte à goutte et lentement On règle l'arrivée de l'alcool et le chauffage, de façon que la température reste comprise entre 140 et 145° L'éther formé distille Lorsque 200 centimètres cubes d'alcool ont été ainsi utilisés, le distillat est transvasé dans une ampoule à décantation et additionné d'un peu d'eau et de lessive de soude diluée jusqu'à réaction faiblement alcaline, on agite énergiquement et l'on fait écouler l'eau après séparation des deux couches On sort l'éther de l'ampoule à décanter, on le sèche avec du chlorure de calcium (10-15 grammes), on le verse sur un filtre sec, on le pèse et on le redistille au bain-marie en observant les précautions indiquées pour le bromure d'éthyle Point d'ébullition: 35°

## Chlorure d'Acétyle

Pour le préparer, on utilise l'appareil suivant:

Il est constitué par un ballon à distiller de 200 centimètres cubes de capacité portant une ampoule à brome et relié à un réfrigérant Celui-ci supporte encore un ballon à distiller de 100 centimètres cubes de capacité, relié à un tube à chlorure de calcium Tout l'appareil doit être rigoureusement sec.

Dans le ballon à distiller on met 60 grammes d'acide acétique cristallisable et dans l'ampoule à brome 45 grammes de trichlorure de phosphore que l'on fait couler dans un temps assez court dans l'acide acétique en agitant de temps en temps. Les deux liquides se mélangent d'abord; au bout de quelque temps il se

forme un *louche* et peu à peu deux couches; ce phénomène est accompagné d'un fort dégagement d'acide chlorhydrique (opérer sous une hotte) Quand la masse ne s'échauffe plus et que les deux couches sont nettement formées, le chlorure d'acétyle est séparé de l'acide phosphoreux par distillation en chauffant au bain-marie Le chlorure d'acétyle ainsi préparé n'est pas complètement pur, il contient encore un peu de trichlorure de phosphore que l'on élimine en traitant par l'acétate de sodium anhydre et en distillant ensuite (point d'ébullition 51°) Ceci n'est cependant pas nécessaire pour la préparation de l'anhydride acétique. Pour la recherche du chlorure de phosphore on décompose quelques gouttes de chlorure d'acétyle par de l'eau (effectuer l'opération sous une *hotte*). L'acide phosphoreux formé est oxydé en acide phosphorique par ébullition avec de l'acide nitrique et celui-ci est ensuite décelé au molybdate d'ammonium

L'acide acétylphosphoreux qui forme le résidu de la distillation peut être transformé en acide phosphoreux, on y arrive en évaporant plusieurs fois au bain-marie avec de l'eau jusqu'à disparition de l'odeur de l'acide acétique

## Aniline

Dans un ballon à fond rond muni d'un réfrigérant à reflux on place 50 grammes de nitrobenzène et 71 grammes d'*étain en grenaille*, on ajoute environ 20 à 30 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré ordinaire (densité 1,16 correspondant à 33 % HCl) et l'on chauffe jusqu'au voisinage de l'ébullition Au besoin[1] on peut, pour *amorcer* la réaction, ajouter 1 gramme de zinc La masse entre en vive ébullition, on retire alors la flamme et l'on ajoute encore peu à peu 260 centimètres cubes d'acide chlorhydrique ordinaire de façon que le liquide reste en vive ébullition sans que du nitrobenzène soit entraîné hors du réfrigérant Lorsque la réaction a diminué peu à peu d'intensité, on chauffe encore pendant quelque temps jusqu'à ce qu'il ne se condense plus de gouttes huileuses de nitrobenzène dans le réfrigérant et que l'on ne puisse plus percevoir son odeur. Lorsque tout le nitrobenzène a été réduit, on laisse refroidir à 50°-60° en-

[1] Au besoin = if need be

viron, il se dépose parfois un sel double d'étain et de chlorhydrate d'aniline [$(C_6H_5.NH_2, HCl)_2SnCl_4$] et l'on ajoute en agitant 300 centimètres cubes environ de lessive de soude à 31% (d = 1,34). Il faut veiller à ce que la masse ne s'échauffe pas au point d'entrer en ébullition Le chlorure stannique est d'abord précipité sous forme d'hydrate qui se redissout dans un excès d'alcali avec formation de stannate, tandis que le chlorhydrate d'aniline fournit la base. On peut reconnaître la fin de la réaction à ce que le précipité primitivement formé se redissout presque complètement et à ce que le liquide a une réaction fortement alcaline. On *entraîne* immédiatement l'aniline *à la vapeur* jusqu'à ce qu'une *prise d'essai* effectuée sur le distillat ne donne plus de précipité de tribromoaniline avec l'eau de brome, ou de coloration violette caractéristique avec une solution de chlorure de chaux En général, 500 centimètres cubes de distillat suffisent De ce liquide on extrait l'aniline, qui s'y trouve en partie dissoute et en partie en suspension, par deux ou trois agitations effectuées chacune avec 40 ou 50 centimètres cubes d'éther et l'on sèche la solution éthérée avec du carbonate de soude calciné On chasse l'éther de la solution éthérée au moyen du dispositif indiqué précédemment et l'on distille l'aniline qui reste sous forme d'une huile légèrement colorée en jaune, en ajoutant 2 grammes de poudre de zinc, on utilise un réfrigérant à air Tout passe exactement à 183°. Rendement. 35 grammes = 90% de la théorie

L'aniline distillée en présence de poudre de zinc est limpide comme de l'eau et reste incolore si on la conserve dans l'obscurité

## O-ET P-NITROPHÉNOLS.

On dissout 40 grammes d'azotate de sodium dans 100 centimètres cubes d'eau et l'on y ajoute 35 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré Pendant que le liquide se refroidit, on chauffe dans une capsule en porcelaine 25 grammes de phénol avec 10 centimètres cubes *d'acide acétique cristallisable;* au moyen d'une ampoule à brome on fait ensuite couler lentement et en agitant la solution obtenue dans le mélange acide refroidi à 30° et placé dans un becherglas à parois épaisses. En refroidissant extérieurement on maintient la température entre 30° et 35°

Lorsque tout le phénol a été ajouté on agite encore pendant une heure et l'on abandonne à soi-même pendant trois à quatre heures Le mélange tout d'abord huileux d'ortho et de paranitrophénols *se prend* ainsi *en une masse cristalline* brun jaune (Si l'huile ne se solidifie pas, on met le becherglas dans un mélange réfrigérant et la masse cristallise immédiatement ) On la filtre rapidement à la trompe (sur un filtre en étoffe), on la lave avec un peu d'eau glacée et l'on entraîne l'orthonitrophénol à la vapeur. L'opération doit être attentivement surveillée et le *débit de l'eau* du réfrigérant doit être réglé de façon que le réfrigérant ne vienne pas à être bouché par de l'orthonitrophénol qui se déposerait L'orthonitrophénol qui passe est absolument pur. Il se solidifie en une masse cristalline jaune que l'on filtre et que l'on sèche à la température ordinaire Point de fusion · 45°; rendement 11 grammes, 5

La masse rouge non entraînable à la vapeur est *additionnée de* carbonate de soude à la température de l'ébullition jusqu'à ce qu'elle ne bouillonne plus La solution brune est séparée de traces de résine par filtration, on la concentre au besoin à 200 centimètres cubes environ et l'on y ajoute à chaud 30 centimètres cubes de lessive de soude à 30% En refroidissant rapidement, le sel de sodium du paranitrophénol peu soluble se sépare en paillettes jaunes que l'on filtre à la trompe (en employant un filtre en étoffe) et qu'on lave avec une lessive de soude à 10% Le sel est redissous dans un peu d'eau, il est précipité à nouveau avec de la lessive de soude, filtré et décomposé par de l'acide chlorhydrique dilué Le paranitrophénol se sépare ainsi sous forme d'une poussière grise, ayant l'aspect du sable, que l'on extrait à l'éther L'extrait est séché au chlorure de calcium, l'éther est chassé par distillation et le p nitrophénol reste sous forme d'une masse légèrement colorée en brun (13 grammes) que l'on fait cristalliser au besoin dans un mélange de benzène et de ligroïne On obtient le p nitrophénol en grandes aiguilles légèrement colorées fondant à 115° (12 grammes).

### O -Chlorotoluène

*Réaction de Sandmeyer* —Dans un ballon à fond rond de 1 litre

et demi de capacité, on ajoute 20 centimètres cubes d'eau et 20 grammes de *tournure de zinc* à une solution verte de 50 grammes de chlorure cuivrique dans 100 centimètres cubes d'acide chlorhydrique brut à 33% et l'on chauffe à l'ébullition jusqu'à ce que la solution primitivement brun foncé passe au brun clair et que le chlorure cuivreux engendré commence à former une croûte cristalline incolore.

A ce moment on dispose environ 600 grammes de *glace* grossièrement *pilée* dans une *conserve;* on y verse en agitant 130 centimètres cubes d'*acide* chlorhydrique *brut,* ce qui fait descendre la température à —18°, et l'on introduit en agitant 54 grammes d'o-toluidine (1 molécule). Celle-ci se dissout tout d'abord, puis se sépare aussitôt sous forme d'une poudre cristalline blanche qui est le chlorhydrate de cette base On ajoute alors dans un temps relativement court une solution de 35,5 grammes de nitrite de sodium industriel dans 100 centimètres cubes d'eau en agitant énergiquement, et le chorhydrate qui s'était séparé se dissout Dans une opération bien conduite la température du liquide reste inférieure à 0°, l'acide nitreux ne se dégage pas et le *papier iodo amidonné* bleuit légèrement.

On verse alors assez rapidement la solution claire de ce diazo dans la solution chaude de chlorure cuivreux presque incolore, en continuant à chauffer et en agitant le ballon de façon que la température atteigne environ 30-40° L'o chlorotoluène se sépare en une huile brune, et il se produit un vif dégagement d'azote On fait un entraînement à la vapeur, on ajoute au distillat un peu de lessive de soude pour dissoudre l'o-crésol formé simultanément et l'on sépare l'o-chlorotoluène légèrement rougeâtre et la solution alcaline dans une ampoule à décanter. On obtient ainsi 58 grammes de produit brut que l'on déshydrate par un court chauffage avec un peu de chlorure de calcium fondu; ce produit brut fournit par distillation 53 grammes d'o-chlorotoluène bouillant entre 152 et 160° (la majeure partie à 156°).

## EXERCISE 21

### Propriétés et Lois Générales de L'État Gazeux

lien = tie, bond
régir = to govern
énoncé = statement, outline
faussé = inaccurate, vitiated
de sens contraire = in opposite direction, inverse
au détriment de = at the expense of
dans le même sens que = directly as
débarrasser = to free
relier = to link, to bind
le moindre = the least
dénuée = devoid, deprived
vis-à-vis = toward
corrigé = corrected
tenir compte de = to take into account
carré = square

Sous la forme de gaz ou de vapeurs aucun *lien* ne retient plus les molécules qui tendent à s'éloigner de plus en plus les unes des autres, les fluides qui les constituent étant caractérisés par une puissance d'expansion leur permettant de remplir des espaces de grandeur et de forme quelconque,[1] et qui n'est limitée que par la résistance des parois des récipients qui les renferment

Les molécules gazeuses se meuvent librement dans des enceintes de volume quelconque qu'elles remplissent toujours entièrement, et on ne peut mesurer une masse gazeuse qu'en tenant compte de conditions variables de comparabilité qui lui sont propres· le volume, la pression, la température, l'état hygrométrique Sous cette forme, la matière obéit à des lois intéressantes à connaître, et possède des propriétés remarquables et dignes de retenir notre attention

Les variations de pression et de température influencent le volume de tous les gaz de la même façon générale, quelles que soient[2] les autres propriétés physiques et chimiques· ces faits sont *régis* par des lois générales, dont voici les *énoncés*

*I—Loi de Mariotte, dite aussi Loi de Boyle.*—A une même température, les volumes d'une même masse gazeuse sont inversement proportionnels aux pressions qu'elle supporte: p v = constante, qui correspond à l'énoncé suivant de la loi: à température

[1] de grandeur et de forme quelconque = of any size and shape
[2] quelles que soient = whatever may be

constante, le produit du volume d'une masse de gaz par la pression qu'elle supporte, est constant.

Cette loi fut d'abord admise comme rigoureusement vraie, mais les progrés réalisés dans l'art expérimental nous ont appris qu'elle n'échappe pas à l'infirmité de toute loi physique, qui est d'être plus ou moins *faussée* dans chaque cas particulier

D'une façon générale, lorsqu'on soumet, à température constante, un gaz à une pression de plus en plus grande, on peut observer deux cas ou bien le volume du gaz diminue d'abord plus rapidement qu'il ne devrait le faire, si la loi de Boyle-Mariotte était vraie, puis la variation tend à devenir régulière, le produit $p\ v$ devenant presque constant, puis une variation *de sens contraire* à la première se manifeste, et brusquement, à un moment donné, le produit $p\ v$ croît de façon désordonnée Ce sont les gaz de cet ordre que l'on a considérés longtemps comme étant les gaz non liquéfiables, autrement dits, permanents Cette expression n'est plus vraie aujourd'hui, et si on la conserve quelquefois dans le langage courant, c'est en lui donnant un sens autre que le sens primitif, et dont nous aurons l'explication au moment où nous étudierons le point critique Enfin, pour une seconde catégorie de gaz, dès que la pression croît, le produit $p\ v$ diminue et pour une pression déterminée, la matière comprimée ne reste plus homogène, mais se sépare en deux couches il y a eu liquéfaction d'une partie du volume gazeux A partir de ce moment, le volume diminuant toujours, la pression ne croît plus, seul, le volume du liquide augmente *au détriment de* la masse gazeuse, et, au moment où tout l'espace libre est occupé par la masse liquide, la pression monte rapidement le gaz est remplacé par un liquide

Quand, à une variation de pression, s'ajoute un changement de température, le volume final est donné par l'application de la loi précédente et de la loi de Gay-Lussac

*Loi de Gay-Lussac*—Les coefficients de dilatation à pression constante et à volume constant, à partir d'une température donnée, sont pour tous les gaz une seule et même constante qui ne dépend que de la température initiale.

Elle est de 1/273 par degré de température, à partir de zéro de-

gré Cette loi peut encore se mettre sous la forme des deux propositions suivantes plus accessibles aux applications.

I. Le volume d'une masse gazeuse quelconque à pression constante varie *dans le même sens que* la température absolue,

II La pression d'une masse gazeuse, à volume constant, varie dans le même sens que la température absolue

On combine souvent la loi de Gay-Lussac et celle de Mariotte dans un seul et même énoncé algébrique

$$p \ v. = p_0 v_0 (1 + at)$$

qui donne le volume $v$ en fonction du volume $v_0$ de la température $t$, de la pression $p$ et du coefficient de dilatation $\alpha = 1/273$ D'où on peut déduire en se servant de la température absolue. $T = 273 + t$ ·

$$\frac{p \ v}{T} = \frac{p_0 \ v_0}{273} = \text{constante}$$

Expression très générale, que l'on peut traduire, en langage ordinaire, en disant le produit du volume par la pression pour une même masse gazeuse, divisé par la température absolue, est une quantité constante

*Phénomènes de Vaporisation et de Condensation*—On donne le nom de vapeurs aux fluides gazéiformes obtenus par l'échauffement des liquides, et ces fluides gazeux se distinguent des gaz proprement dits par la facilité avec laquelle ils reprennent l'état liquide Ce sont des gaz, mais des gaz au voisinage de leur point de liquéfaction

Quand une vapeur est séparée de son liquide générateur, elle peut prendre, sous l'action de la chaleur, un état semblable à celui d'un gaz, et dans ces conditions elle obéit d'autant mieux aux lois de Boyle-Mariotte et de Gay-Lussac, qu'elle est éloignée de son point de liquéfaction Considérée en présence du liquide générateur, elle se comporte tout différemment; et le moindre refroidissement, ou la moindre compression en provoque la condensation, et elle ne suit plus du tout les lois simples de l'état gazeux. Les vapeurs de la première catégorie sont dites surchauffées, et celles de la seconde espèce, saturées Les gaz soumis à des pressions croissantes, diminuent de volume en raison de la loi de

Mariotte; mais ce volume n'est pas exactement celui qu'il devrait être, si la loi était rigoureusement applicable. Tous les corps gazeux, au-delà d'une certaine température caractéristique du gaz, suivent plus ou moins exactement la loi, et sans changer d'état, la pression croissant sans limite; mais si l'on se trouve au-dessous de cette température caractéristique, la pression croissant sans cesse, il arrive un moment où le gaz cesse d'obéir à la loi, et se liquéfie. C'est maintenant un liquide, et qui suivra comme tel, les lois de la compression des liquides.

On a donné à cette température le nom de température critique. Cette propriété de l'état gazeux, entrevu par Gagnard de la Tour, fut définitivement établie par Andrews, qui montra en 1869 qu'il y a pour chaque gaz une température critique au-dessus de laquelle la liquéfaction n'est plus possible, et à laquelle la liquéfaction se fait sous l'influence d'une pression déterminée sans changement de volume.

*Tension de Vapeur.*—Tout liquide tend à prendre l'état gazeux, et la mesure de cette tendance est ce qu'on appelle la tension de vapeur du liquide. Les liquides manifestent cette tendance à des degrés variables. Si l'on abandonne de l'eau, dans un vase ouvert et à la température ordinaire, elle émet des vapeurs, mais la tension de ces vapeurs est peu élevée, et l'eau ne s'évapore que lentement. Au contraire, de l'alcool, dans les mêmes conditions, ou de l'éther sulfurique, s'évaporent avec une bien plus grande rapidité.

Si on remplace l'eau, l'alcool et l'éther par du mercure, celui-ci a bien encore une tension de vapeur, mais elle est très faible, et il faudrait un temps pratiquement infini pour le faire disparaître.

Pour chaque liquide il existe à une température donnée, une tension de vapeur déterminée et fixe. C'est la tension de saturation de la vapeur. Elle est indépendante de la masse du liquide et varie seulement pour un même liquide avec la température et la pression. Pour tous les liquides, la tension de vapeur croît avec la température, et cela explique que l'évaporation des liquides soit plus active à mesure que la température croît.

Quand la tension de vapeur du liquide égale la pression extérieure, le liquide se transforme librement en vapeur et il est dit

être en ébullition. Quand on chauffe un liquide dans un espace clos, la zone de séparation du liquide et des vapeurs, nette au début, devient de moins en moins distincte, et pour une température qui est la température critique de la vapeur, la zone de séparation disparaît et il est impossible de distinguer le liquide de sa vapeur · à ce moment la pression régnante est la pression critique.

*Distillation de Mélanges Volatils.*—L'expérience montre que l'ébullition de deux corps volatils varie le point d'ébullition du mélange est abaissé au-dessous du point d'ébullition du corps dont le point d'ébullition est le plus élevé, mais cet abaissement dépend de la somme des tensions de vapeur des deux substances.

Prenons par exemple un mélange d'eau et d'alcool La vapeur du mélange renfermera à la fois des vapeurs d'alcool et de la vapeur d'eau; et le mélange entrera en ébullition à une température telle que la somme des deux tensions de vapeurs soit égale à la pression exercée par l'atmosphère, sur le mélange liquide En général, la composition du mélange liquide est différente de celle de la vapeur qu'il émet, il en résulte que le liquide s'appauvrit constamment en un de ses éléments et à mesure que l'ébullition se poursuit, le point d'ébullition croît, car, à chaque variation de composition du mélange liquide, correspond une température telle que la tension du mélange des vapeurs émises égale la pression s'exerçant sur le liquide en ébullition Le point d'ébullition croît parce que le liquide s'appauvrit constamment de la substance la plus volatile; le point d'ébullition final sera le point d'ébullition de la substance la moins volatile du mélange Si l'on opère avec un mélange d'eau et d'alcool, l'ébullition commencera aux environs de 78° et se poursuivra à 100° dès que tout l'alcool aura passé à la distillation Mais, ceci, à la condition que le corps à point d'ébullition le plus élevé soit en excès; sans quoi, comme les vapeurs émises sont formées d'un mélange des deux substances, on ne pourrait arriver à les séparer Il est très difficile d'arriver à *débarrasser* complètement le corps le plus volatil du corps qui l'est moins, quoique cette séparation soit théoriquement possible.

Certains mélanges, cependant, ne suivent pas la loi qui vient d'être énoncée et tendent à se séparer à la distillation, d'une part, en l'un des composants, et, d'autre part, en un mélange des deux,

dont le point d'ébullition est constant  Un tel mélange peut être distillé sans modifications absolument comme un corps pur, la composition du distillat étant la même que celle du corps résiduaire  C'est notamment le cas avec les mélanges aqueux d'alcool propylique et d'acide formique. Si l'on se souvient que l'on admet, comme caractéristique des corps purs, la constance du point d'ébullition, on comprendra qu'on ait pu confondre parfois des mélanges analogues à ceux dont nous venons de parler, avec des corps purs  Des cas semblables à ceux que nous venons de voir se rencontrent très souvent en chimie; l'acide azotique n'a un point d'ébullition fixe qu'à 126°, et renferme alors 32% d'eau

*Théorie Cinétique des Gaz*—La théorie cinétique des gaz nous permet de déterminer quelle est la constitution mécanique des molécules, en d'autres termes, de déterminer si elles sont au repos ou en mouvement, et si, aux différents états de la matière, correspondent différents états mécaniques

L'état gazeux se prête particulièrement bien à ce genre d'investigations, étant régi dans toutes ses propriétés générales par les lois très simples de Boyle-Mariotte, de Gay-Lussac, de Joule et d'Avogadro-Ampère, qui *relient* ensemble, étroitement, les propriétés générales de l'état gazeux, à savoir[1] la pression, la température, le volume, l'énergie interne et le nombre de molécules, et mettent bien en évidence, par la généralité de leur application, l'identité de constitution mécanique des gaz, et la simplicité de propriété de la matière à l'état gazeux  D'après la théorie cinétique des gaz, les particules de la matière, à l'état gazeux, identiques aux molécules, sont indépendantes l'une de l'autre et le volume apparent n'est qu'en minime partie occupé par ces molécules, celles-ci ne sont pas au repos, mais animées de mouvements très rapides, et l'on a représenté la pression exercée par les gaz, sur les parois des vases qui les renferment, comme résultat d'actions atomiques ou moléculaires

D'après la théorie cinétique, les myriades de molécules constituant les gaz seraient sans cesse en mouvement dans toutes les directions, se rencontrant l'une et l'autre à chaque instant, et rencontrant aussi les parois sur lesquelles elles exercent une force

[1] à savoir = that is to say

qui serait la pression. Les chocs des m
contre les parois

supposées rigides et parfaitement élastiques, répétées des milliards de fois, constituent une sorte de bombardement moléculaire et, d'après la théorie cinétique, c'est le bombardement moléculaire qui serait la cause de la pression et la pression elle-même La pression que supporte une paroi devra donc être proportionnelle à la vitesse des molécules, à leur masse, et au nombre de molécules frappant la paroi pendant l'unité de temps, c'est-à-dire au nombre de molécules contenues dans l'unité de volume. Toutes les lois simples de l'état gazeux peuvent se déduire de la théorie cinétique. En admettant que la théorie soit vraie, et que les propriétés physiques d'un gaz résultent des propriétés de ses particules constituantes, le raisonnement seul conduit à l'énoncé des lois simples de l'état gazeux Soit, en effet, à température constante une masse donnée de gaz, renfermant un nombre donné aussi de molécules, dont l'action est connue, changeons le volume de cette masse, nous modifions par cela même le nombre des molécules renfermées dans l'unité de volume, et par conséquent aussi la pression, et nous voyons tout de suite, sans *le moindre* calcul, qui si la pression dépend du nombre des molécules renfermées dans un espace donné, elle variera en raison inverse du volume occupé par la masse gazeuse

De même, à volume constant, faisons varier la température, la force vive des molécules varie aussi; par conséquent la pression suivra des variations de même ordre

*Equation de Van der Waals* —Non seulement la théorie cinétique nous permet de vérifier les lois de l'état gazeux, telles que nous les connaissons, lois qui ne sont pas réellement vraies et que nous supposons applicables à des gaz idéals, dits parfaits, mais elle nous donne encore la raison de cette déviation ou de cet écart que révèle l'expérience Jusqu'ici nous avons considéré les molécules gazeuses comme des unités physiques *dénuées* de toute matérialité, sans masse et sans volume, mais, en réalité, si ces particules existent, nous ne pouvons faire abstraction de leur masse, ni de leur volume, et il nous faut admettre que cette masse et ce volume, quoique très faibles sont de nature finie. Dans les conditions ordinaires, à la pression de la température ordinaire, le volume occupé par ces molécules gazeuses est évidemment in-

finiment petit, si on le rapporte au volume du gaz lui-même, et n'a pas d'influence sur les lois de l'état gazeux; mais dès que la pression croît, que le volume du gaz tend vers une limite infiniment petite, pour une masse donnée de gaz, le volume des particules cesse de devenir négligeable *vis-à-vis* du volume total dont elles forment une fraction notable, et les lois de l'état gazeux cessent d'être applicables avec rigueur; la pression croîtra plus rapidement que ne le voudrait la loi $p\ v. = RT$

Si nous représentons par $b$ l'espace occupé par les molécules, la loi peut être *corrigée* en y introduisant ce nouveau facteur, et en remplaçant le volume théorique faux $v$ par une expression nouvelle $(v—b)$, représentant l'espace réel compris entre les molécules, l'expression $pv = RT$ se trouve transformée en une expression plus exacte

$$p(v—b) = RT$$

Le terme $b$ est une constante qui dépend du gaz considéré

A côté du volume vrai des molécules gazeuses, il est aussi une autre condition dont on doit *tenir compte,* c'est l'attraction réciproque des molécules, attraction d'autant plus considérable que la matière étant plus comprimée, ces molécules sont plus voisines les unes des autres Van der Waals admet que l'attraction est inversement proportionelle au *carré* du volume L'attraction moléculaire agirait donc comme un accroissement de pression, et la correction doit se faire en ajoutant cette action à la pression vraie Si $a$ représente le coefficient d'attraction, pour l'unité de volume de gaz, la correction additive pour un volume $v$ quelconque sera $\frac{a}{v^2}$, et l' expression $p\ (v - b) = RT$ de la loi de Boyle-Mariotte devient

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT.$$

Cette dernière expression s'adapte non seulement aux anciens gaz permanents, mais aussi aux gaz beaucoup plus compressibles, et l'accord entre les valeurs calculées et celles trouvées expérimentalement est toujours très satisfaisant.

## EXERCISE 22.

### Détermination des Poids Moléculaires

au dixième de milligramme près = to within a tenth of a milligram
goutte = a drop
marmite = a kettle
encastrer = to fit in
support à anneau = ring stand
il vaut mieux = it is better
tube latéral = side tube
manchon = mantle
renflement = enlargement, bulb
pastille = pill, tablet
ampoule = glass bulb or vial
coiffer = to cap
cloche graduée = graduated gas burette
refouler = to drive back
surélévation = rise
abaissement = lowering

*Détermination par la loi d'Avogadro*—D'après la loi d'Avogadro volumes égaux de gaz ou vapeurs raréfiées, mesurés à la même température et à la même pression, renferment le même nombre de molécules, et, d'autre part, le rapport des poids moléculaires est égal à celui des poids de ces volumes gazeux, ou, si l'on veut, au rapport de leurs densités gazeuses

Quand on a affaire à des substances gazéifiables ou qui se présentent d'elles-mêmes à l'état gazeux, à la température ordinaire, la détermination du poids moléculaire est donc relativement très simple. Nous avons vu, au début, qu'une molécule doit occuper à l'état gazeux, à pression et à température normales, un volume de 22 litres 4 Le problème ainsi posé ne serait pas facile à résoudre, car il serait malaisé de peser un volume de 22 litres 4 de vapeur, mais en déterminant la densité de la vapeur, le problème se trouvera résolu de lui-même par une multiplication très simple. On a, en effet $M = Vd$ Tout revient donc à déterminer $d$ puisqu'on connait V a priori, on appelle densité d'un gaz ou d'une vapeur, par rapport à un autre gaz, le rapport existant entre le poids d'un certain volume de cette vapeur, au poids d'un égal volume du gaz type, ces volumes étant mesurés dans les mêmes conditions de température et de pression

Comme gaz type, on peut prendre un gaz quelconque, en général on fixe son choix sur l'air ou sur l'hydrogène

Dans l'étude des densités de vapeur on considère le poids de la vapeur, sa température, son volume, sa pression Toutes ces données sont reliées entre elles par une formule

*Détermination de d Méthode de Dumas*—On peut dire qu'elle est la méthode chimique par excellence; elle est, du reste, la seule donnant des densités de vapeur rigoureusement exactes Elle revient, en principe, à peser un volume connu de vapeur; pour l'appliquer, on utilise des ballons de verre que le commerce livre tout préparés et dont la capacité peut varier de 50 à 400 centimètres cubes

Le ballon soigneusement lavé et séché à l'intérieur, est alors porté sur une balance de précision, où on le pèse soigneusement, *au dixième de milligramme près,* en faisant la correction de la pression atmosphérique

L'équation d'équilibre peut être établie comme suit, en appelant *m* la masse qu'on doit mettre sur le plateau portant le ballon

(1) Masse du verre + air sec intérieur — poussée + $m$ = T

T étant la tarre faisant équilibre On note la température *t*, et la pression H du moment, ramenée à zéro

Pour bien faire comprendre la marche des opérations, nous considèrerons d'abord un liquide, et nous étendrons ensuite la méthode au cas d'un corps solide Le cas d'un corps liquide est le plus simple, on en prend quelques centimètres cubes qu'on place dans un petit vase de Bohême, on chauffe doucement le ballon, en appliquant simplement la main contre sa paroi, et on en plonge l'extrémité dans le vase de Bohême renfermant le liquide dont on veut déterminer le poids moléculaire Le ballon se refroidissant, il se fait à l'intérieur un vide relatif, et une petite quantité de la substance se trouve aspirée à son intérieur On recommence l'opération si la quantité de substance introduite est jugée insuffisante elle doit former au fond du ballon une *goutte* d'une largeur de 3 à 3 centimètres et demi Cela fait, on prend le ballon et on le dispose dans une *marmite* spéciale après l'avoir *encastré* dans un *support à anneau* qui le maintient en équilibre La marmite contient un liquide approprié à la température finale qu'il convient d'atteindre Il faut que, pendant toute la durée de l'opération, la température aille constamment en montant[1] de façon à éviter toute entrée d'air

[1] Il faut que le température aille en montant = the temperature must rise

Soit, par exemple, à prendre la densité de vapeur de l'alco( qui bout à 78° On dispose le ballon dans lequel on a introduit ( l'alcool, en suivant la méthode indiquée, dans la marmite re fermant de l'eau, et on chauffe progressivement; dès qu'on d passe 78° l'alcool se met à bouillir, à partir de ce moment ( modère le feu de façon à arriver vers 90°. A ce moment on no la température $t_2$ et la pression correspondante $H_2$, qui se trou être très sensiblement identique à $H_1$, et on ferme à la lampe col du ballon. On sort celui-ci, on l'essuie et on le lave avec 1 liquide convenable, on le laisse quelques minutes dans la cage ( la balance, pour lui laisser le temps d'équilibrer sa températu1 et on le pèse à nouveau On obtient ainsi une seconde équati( d'équilibre

(2) verre + vapeur de la substance + air resté — $\omega$ + $m'$ = '

En appelant $m'$ la nouvelle masse ajoutée à côté du ballon, $\omega$ la poussée Nous pouvons égaler les deux équations d'équi bre 1 et 2 et, en retranchant les parties communes, on obtient

(3) air sec intérieur + $m$ = vapeur + air resté + 1

Représentons par: $p$ la vapeur, $p'$ l'air sec intérieur, $p''$ l'air res L'équation (3) prend la forme (3′)

$$(3') \quad p' + m = p + p'' + m'$$

Il s'agit maintenant de déterminer le volume intérieur du ballc Pour cela, on le plonge dans de l'eau distillée et on en coupe bout, dans ces conditions, étant donné le vide intérieur, l'e rentre, et, théoriquement, si l'expérience a été bien faite, il doit pas rester d'air dans le ballon, et l'eau doit le remplir entièr ment, en réalité il n'en est pas tout à fait ainsi, et il reste toujou quelque bien faite qu'ait été l'expérience[1], un peu d'air. Quai cette masse d'air est faible, l'expérience est néanmoins considér comme convenable S'il y a trop d'air, l'expérience est défc tueuse, et *il vaut mieux* la recommencer que d'essayer de te1 compte du volume occupé par l'air. Si, cependant, on veut ter compte de cet air restant, on pourra opérer comme il va être d

[1] quelque bien faite qu'ait été l'expérience = no matter how carefu the experiment may have been done

Supposons le ballon plein d'eau, on le retourne avec soin, et on le retire, après l'avoir enfoncé de façon à établir l'égalité de niveau à l'intérieur et à l'extérieur, on le sèche bien, et on le pèse avec soin Connaissant le poids de l'enveloppe, on a par différence le poids de l'eau, et par suite le volume occupé par la vapeur au moment de la fermeture du ballon Ceci fait, on achève de le remplir en s'aidant d'un entonnoir effilé, on le pèse de nouveau, et on a ainsi le poids de l'eau occupant la place de l'air resté et le volume total du ballon, à la température de l'expérience.

$$\text{Poids de l'eau} = v_0\ (1 + k\theta)\ d\theta$$

$\theta$ étant la température, et $d\theta$ la densité correspondante à cette température.

On connaît, en outre, le volume de l'air resté dans le ballon au moment de la fermeture de celui-ci représentons par U ce volume à la température $\theta$ et à la pression $H\theta$

*Calcul de $p'$*—Nous représentons par $p'$ le poids de l'air sec remplissant le ballon au début de l'expérience, une formule connue nous donne immédiatement $p'$ en fonction des données expérimentales:

$$p' = V_0\,U\,\frac{H_1}{760} \cdot \frac{273}{T}\,.$$

*Calcul de $p''$*—Nous avons représenté par $p''$ l'air resté dans le ballon Cet air, nous l'avons connu sous deux conditions Au moment de la fermeture du ballon où il occupait le volume $V_0$ $(1 + kt_2)$ à une pression $x$ inconnue, et à la température $t_2$ Dans la seconde condition, il occupe le volume U, la température $\theta + 273$ en valeur absolue, la pression $H - f$ On en déduit, en appliquant l'expression combinée des lois de Mariotte et de Gay-Lussac

$$(1) \qquad V_0\,\frac{(Hkt_2)x}{T_2} = U\,\frac{(H_0 - f)}{\theta + 273}$$

d'où l'on tire le volume de p''.

$$p'' = U\alpha\,\frac{(H_0 - f)}{760}\,\frac{273}{T} = V_0\,(1 + kt_2)\alpha\,\frac{x}{760} \cdot \frac{272}{T_2}\,.$$

Quant à $x$ on tire facilement sa valeur de l'équation (1).

*Calcul de $p$*—Nous avons représenté par p le poids de vapeur

contenue dans le ballon au moment de sa fermeture; le poids de cette valeur est donnée par l'expression ·

$$p = V_0(1 + kt_2)\, a.d \,\frac{H - x}{760}\, \frac{273}{T_2}\,.$$

*Méthode de Victor Meyer*—La méthode de Victor Meyer est très ingénieuse, et a eu un grand succès dans les laboratoires de chimie

L'appareil se compose d'un petit cylindre en verre de sept à huit centimètres de haut et de 1 centimètre de diamètre; il se termine par un tube de plus faible diamètre et pouvant être fermé par un bouchon à sa partie supérieure. Il est, en outre, muni à deux ou trois centimètres de sa partie supérieure d'un *tube latéral* qui débouche sous une cuve à eau

Pour prendre une densité, l'appareil doit être chauffé; pour cela on utilise en général, comme dans la méthode d'Hofmann, un *manchon* de diamètre un peu supérieur à celui du cylindre, et portant un *renflement* à sa partie inférieure. Dans la partie inférieure de ce manchon, on met un liquide à peu près pur, dont on entretient l'ébullition à l'aide d'un bec Bunsen; on obtient ainsi une température assez constante, ce qu'il est facile de vérifier à l'aide de l'appareil lui-même Supposons, en effet, que l'appareil soit fermé et qu'on le chauffe, tant que la température va en croissant, l'air intérieur se dilatera et s'échappera à travers l'eau de la cuve; dès que la température devient constante ce dégagement gazeux cessera

La substance dont on va prendre la densité de vapeur est mise, soit sous forme de *pastilles,* soit dans une *ampoule* en verre très mince, il en faut une très petite quantité, quelques décigrammes à peine, qu'on pèse avec grand soin. On chauffe alors le manchon dans lequel on a mis un liquide convenable, et qui varie suivant la température qu'on veut atteindre. Lorsque la température de l'appareil est devenue constante, on *coiffe* l'extrémité du tube abducteur d'une *cloche graduée* pleine d'eau; ceci fait, on ouvre le tube, on laisse rapidement tomber la substance dans l'appareil, et on referme aussitôt Arrivée au fond, la substance fond d'abord si elle est solide, et se volatilise, mais la vapeur formée n'a pas le temps de se diffuser, elle reste dans le bas de l'appareil,

et la proportion de substance introduite doit être telle que cette vapeur occupe un tiers seulement du cylindre. On comprend facilement qu'en croissant, cette vapeur doit occuper un certain volume, et ce volume, elle doit le prendre à l'air qu'elle *refoule,* comme le ferait un piston Le contrecoup de ce refoulement se traduit par le dégagement d'une certaine quantité d'air Il est évident que l'air qu'on recueille sur la cuve à eau occupait dans l'appareil un volume identique à celui pris par la vapeur en naissant; et il suffit de peser cet air pour avoir le poids de l'air occupant le même volume que celui de la vapeur, dont on connaît le poids par pesée directe de la substance vaporisée En pratique on ne pèse pas le gaz recueilli sur la cuve, on se contente de mesurer son volume sur la cuve à eau et on calcule le poids correspondant à ce volume Soit $v$ ce volume, $t$ la température, $h$ la pression, le poids $p'$ de l'air est donné par l'expression

$$p' = Va \frac{Hf}{760} \quad \frac{273}{T}.$$

Si $p$ est le poids de la substance introduite dans l'appareil, on a facilement la densité $d$ cherchée $d = p/p'$

La méthode de Victor Meyer présente de très nombreux avantages Elle dispense de la connaissance de la température à laquelle on opère, il suffit que cette température demeure constante pendant tout le cours de l'opération Il est également inutile de connaître la pression D'autre part, l'opération ne demande qu'une quantité extrêmement faible de substance, et les manipulations sont à peu près nulles, en tout cas sans aucune difficulté

A côté de ces avantages existent quelques inconvénients La vapeur, notamment, est toujours et nécessairement en contact avec un gaz, de l'air, si on opère sans précautions, mais rien n'est plus simple, si le besoin s'en fait sentir, d'opérer dans un autre gaz, dont il suffit de remplir l'appareil au préalable On ne connaît pas la pression vraie de la vapeur, il est très probable que c'est celle de l'atmosphère, mais il n'y a aucune certitude à cet egard, il se peut qu'il y ait[1] diffusion de la vapeur C'est là un inconvénient, car on a ainsi la densité à une pression inconnue, alors

[1] il se peut qu'il y ait = there may be

qui serait la pression. Les chocs des molécules contre les parois qu'il peut être intéressant de connaître cette pression avec quelque certitude; d'autre part, pour les vapeurs susceptibles de se dissocier, la présence d'un gaz indifférent peut hâter cette dissociation Enfin, l'appareil primitif étant en verre, ne peut être employé au-delà de la température de ramollissement de celui-ci, c'est-à-dire pas beaucoup plus loin que 600°. Pour les températures supérieures à 600°, on a préconisé des appareils dont la partie inférieure est en porcelaine Avec ces ballons de porcelaine on peut opérer jusqu'à des températures de 1770°, mais il faut pour cela de très bonne porcelaine

Détermination par l' Ebullioscopie-La tension de vapeur d'une solution est inférieure à celle du dissolvant pur Pour une même solution la diminution de tension de vapeur représente, quelle que soit la température[1], une fraction constante de la tension de vapeur $f$ du dissolvant $f - f' = \frac{1}{x} \cdot f$. La diminution $f - f'$ est proportionnelle à la concentration de la solution

Lorsque dans des quantités égales d'un même dissolvant on dissout, de différentes substances, des quantités proportionelles à leurs poids moléculaires, on obtient des solutions qui ont la même tension de vapeur Mais la mesure d'une tension de vapeur est une opération assez délicate Aussi préfère-t-on généralement simplifier le mode opératoire, et partir de trois autres propositions correlatives des précédentes

Le point d'ébullition d'une solution est plus élevé que celui du dissolvant pur,

La *surélévation* est proportionnelle à la concentration de la solution;

Cette surélévation est égale pour des solutions équimoléculaires faites au moyen d'un même dissolvant

La partie expérimentale de notre étude se trouve ainsi complètement transformée. Il ne s'agit plus de déterminer des tensions de vapeur, mais des points d'ébullition, ce que nous pouvons faire par des opérations relativement simples.

[1] quelle que soit la température = whatever the temperature may be.

*Méthode Beckmann*—L'appareil comprend un réservoir d'ébullition ayant la forme d'un tube à essai avec un tube latéral, auquel est attaché un condensateur ascendant, par l'autre ouverture pénètre le thermomètre Beckmann Généralement un gros fil de platine est soudé au fond du réservoir d'ébullition

Ce tube à ébullition est protégé par une enveloppe de verre, portant aussi un tube latéral muni d'un condensateur ascendant Dans cette enveloppe on place une petite quantité de dissolvant et quelques morceaux de grenat L'enveloppe repose sur une boite en amiante

Pour faire une expérience on place dans le tube à ébullition une couche assez épaisse de billes de verre, puis à l'aide d'une pipette on introduit une quantité pesée de dissolvant, et on allume le bec de Bunsen La chaleur se communique au liquide par l'intermédiaire du fil de platine Lorsque l'ébullition a commencé, on règle la lampe de telle façon que le réfrigérant renvoie une goutte de liquide toutes les cinq ou dix secondes On arrive ainsi lentement à établir une ébullition bien régulière, pendant laquelle la température marquée par le thermomètre n'oscille plus qu'entre d'étroites limites On connaît alors le point d'ébullition du dissolvant pur

On introduit ensuite par la tubulure latérale une quantité pesée de la substance à étudier, et au bout de quelques minutes, lorsque le thermomètre s'est fixé à une nouvelle position d'équilibre, on note encore une fois la température On peut calculer le poids moléculaire en appliquant la formule suivante

$$M = k \frac{w}{\Delta W},$$

$w$ est le poids de la substance introduite, W le poids du dissolvant, $\Delta$ la différence de points d'ébullition, $k$ est une constante qui varie d'un solvant à l'autre

*Le Point de Congélation* (*Cryoscopie*) —Lorsqu'une solution étendue commence à se congeler, la matière solidifiée est presque toujours du dissolvant pur, et le phénomène continue à se passer de la sorte aussi longtemps que la partie encore liquide du dissolvant suffit à tenir en dissolution la substance ajoutée.

Le processus obéit à des lois semblables à celles qui servent de base aux méthodes ébullioscopiques

Le point de congélation d'une solution est inférieur à celui du dissolvant pur;

*L'abaissement* est proportionnel à la concentration de la solution,

L'abaissement est le même pour des solutions équimoléculaires faites dans le même dissolvant

Il y a donc entre le poids $w$ d'un corps dissous dans W grammes de solvant, son poids moléculaire M et l'abaissement du point de congélation de la solution $d°$ une relation qui permet, toutes ces quantités moins une étant connues, de déterminer la quantité inconnue, et qui est donnée par la formule $M = k\frac{w}{dW}$, où $k$ est une constante qui varie suivant le solvant considéré.

L'appareil dont on se sert est l'appareil de Beckmann. Il se compose de deux larges tubes à réaction, engagés l'un dans l'autre de manière à laisser entre les deux parois de verre une couche d'air, mauvaise conductrice de la chaleur Il faut en outre un thermomètre Beckmann, gradué en centièmes de degré, et un agitateur en platine

L'appareil se trouvant plongé dans un réfrigérant dont la température doit être inférieure de 2 à 5 degrés au point de congélation prévu, on introduit dans le tube intérieur une certaine quantité de liquide à étudier, et on met l'agitateur en mouvement Le liquide se refroidit, mais reste encore en surfusion à quelques dixièmes de degré au-dessous de son point de congélation En ce moment on provoque une congélation partielle, soit en accélérant les mouvements de l'agitateur, soit en amorçant la cristallisation Aussitôt la solidification commence et le dégagement de chaleur latente suffit pour faire monter le thermomètre jusqu'au point de congélation exact

On fait cette opération une première fois avec le dissolvant choisi Après quoi on passe à l'étude d'une série de solutions de concentration variée, de manière à constater des dépressions allant de 0, 2 ou 0, 5 à 4 degrés

## EXERCISE 23.

### Phénomènes Électrolytiques

cellule = cell
amenée = inlet
sortie = outlet
lame = plate
force contre-électromotrice = reverse electromotive force
chute de potentiel = drop of potential
indice = factor
pont de Wheatstone = Wheatstone bridge
se taire = to become silent
le curseur = runner
plonger = to dip
un bâton de zinc = a stick of zinc
s'appauvrir = to become poor
s'enrichir = to become rich
piles étalons = normal cells

On donne le nom d'électrolyse aux phénomènes de décomposition qui accompagnent toujours le passage du courant à travers certains composés chimiques dits électrolytes, et qui doivent, pour être conducteurs de l'électricité, se présenter sous un état suffisant de fluidité

L'appareil dans lequel se passe le phénomène de l'électrolyse et qui renferme l'électrolyte, prend le nom de voltamètre, de cuve ou d'appareil électrolytique, de *cellule;* et dans des circonstances toutes particulières, notamment quand on opère sur des substances fondues et à haute température, de four électrique, les conducteurs qui servent à *l'amenée* et la *sortie* du courant sont les électrodes On désigne l'électrode par où entre le courant sous le nom d'électrode positive ou anode, et celle où il sort, sous le nom d'électrode négative ou cathode.

Ces électrodes sont généralement constituées soit par un métal inattaquable par les produits de l'électrolyse, et bon conducteur de l'électricité, soit en charbon particulier et bon conducteur, elles se présentent sous les formes les plus diverses, fils, barres, *lames*

Il est généralement nécessaire de pouvoir déterminer leur surface, avec exactitude, afin de pouvoir rapporter les réactions électrolytiques à la densité du courant, c'est-à-dire à l'intensité en ampères, par décimètres ou centimètres carrés

On donne le nom de système électrique à tout circuit isolé, traversé par un courant électrique; et de système électrolytique à toute partie du courant renfermant un électrolyte, c'est-à-dire un

composé chimique capable, en entrant en réaction, d'engendrer une force électromotrice, ou une *force contre-électromotrice,* c'est-à-dire qui correspond à une *chute de potentiel*

Quand on soumet à l'électrolyse un électrolyte, les composants de celui-ci apparaissent aux électrodes. L'expérience a montré qu'ils n'apparaissent pas dans un ordre quelconque, mais suivant une loi invariable.

Soumettons à l'électrolyse une solution d'acide sulfurique dans de l'eau (quand on parle d'une solution sans spécifier le solvant, il s'agit toujours d'une solution aqueuse), les électrodes étant en platine ou en toute autre substance difficilement attaquable, on observe un dégagement d'oxygène autour d'une électrode, et un dégagement d'hydrogène autour de l'autre Nous avons vu aussi que l'électrode sur laquelle apparaît l'oxygène, a reçu le nom d'électrode positive ou d'anode, et correspond au conducteur directement relié au pôle positif de la source d'électricité, celle autour de laquelle se dégage l'hydrogène a reçu le nom d'électrode négative, ou cathode et elle est en relation directe avec le pôle négatif de la source génératrice.

L'expérience montre que toujours, quand on electrolyse un acide, l'hydrogène acide se porte autour de la cathode, le résidu de la molécule se porte au contraire à l'anode, se dégage s'il le peut, ou réagit sur le solvant Chez les sels, c'est le radical métallique qui tient la place de l'hydrogène acide, qui toujours se porte à la cathode, le radical acide allant à l'anode Dans le cas des bases, le radical métallique va à la cathode, et l'oxhydrile va à l'anode On peut dire d'une façon presque générale, que les éléments qu'on appelait électro-négatifs dans l'ancienne théorie de Berzelius, tels que les métalloides ou groupes métalloides Cl, Br, I, $SO_4$, $NO_3$, ClO, OH, se portent vers le pôle positif, c'est-à-dire à l'anode, tandis que les éléments électropositifs tels que l'hydrogène et les métaux, se dégagent à la cathode, soit au pôle négatif

On a donné à ces constituants chimiques qui se dégagent aux électrodes le nom d'ions, les uns étant des anions, et les autres des cations, suivant qu'ils se dégagent à l'une ou l'autre électrode

*Loi de Faraday*—Lorsqu'un électrolyte est traversé par une quantité d'électricité égale à 96512 coulombs, la quantité des

matières déposées est représentée, en valeur absolue, par leur poids moléculaire exprimé en grammes, avec cette condition, que l'élément électro-négatif entre dans la formule chimique avec un seul équivalent.

On voit, d'après cette loi, que tout le travail de l'électrolyse dépend de la masse électrique que représente le courant, peu importe que celui-ci soit faible[1] ou fort; peu importe le temps nécessaire pour opérer la décomposition; peu importe le degré de concentration de l'électrolyte, le résultat est toujours le même, et une quantité donnée d'électricité libère toujours une même masse d'équivalents chimiques.

On donne le nom d'équivalent électrochimique à la quantité de tout corps jouant le rôle d'élément électronégatif libéré par un coulomb

*Théorie de Swante Arrhénius*—D'après Arrhénius, dès qu'une substance est dissoute dans l'eau, si elle est capable de conduire le courant, elle se dissocie en ses composants, radical électro-positif et radical électro-négatif D'après lui, la conductibilité des électrolytes est en rapport direct avec la proportion des molécules dissociées, de sorte que nous avons ici un nouveau moyen de contrôle C'est cette ingénieuse conception à laquelle on donne le nom d'hypothèse des ions L'ion prend ici sa signification définitive Lorsque le courant traverse un électrolyte, c'est parce qu'il renferme des ions, que le courant transporte seulement. Et, suivant cette idée, les substances qui, dissoutes, donnent des solutions conduisant bien le courant électrique, doivent ceci à ce qu'elles sont presque totalement dissociées et, au contraire, celles qui ne conduisent le courant qu'avec difficulté ne sont que très légèrement dissociées Quant aux molécules entières, elles ne jouent aucun rôle dans le transport du courant

Les ions sont des fractions de molécules et, de plus, ils existent en solution avec des affinités libres et sont chargés d'électricité. Les ions, chargés d'électricité, arrivent aux électrodes, perdent leurs charges; les affinités libres se saturent mutuellement, et les ions reprennent l'état moléculaire; ils apparaissent tels que nous

[1] peu importe que celui-ci soit faible = no matter whether the latter is weak . .

les connaissons, sous une forme polymérisée, qui ne laisse en rien préjuger de ce qu'ils peuvent être[1] à l'état libre

On a prétendu que, puisque, dans une solution il est impossible de déceler aucune trace d'électricité, il était invraisemblable que les ions y fussent pourvus de charges électriques A ceci, Arrhenius et son école répondent que, si dans un électrolyte qui n'est traversé par aucun courant, on ne peut déceler aucune charge libre, malgré la charge de ses ions, c'est parce que la somme de toutes les charges, positives et négatives de ses différents ions, est égale à zéro D'autre part, Van't Hoff et Rudolph ont montré que lorsqu'un sel se dissout dans de l'eau, l'effet thermique observé est la somme de deux quantités de chaleur, l'une relative à la dissolution du sel non décomposé, l'autre relative à la dissociation du sel

*Coefficient de Dissociation*—Le cœfficient de dissociation, c'est-à-dire le nombre d'ions, croît avec la dilution, on en trouve une preuve manifeste dans les mesures de Kohlrausch, qui a montré expérimentalement que la conductibilité moléculaire d'un sel dissous, augmente avec la dilution de la solution considérée, jusqu'à un maximum qui, une fois atteint, ne peut être dépassé quel que soit l'accroissement de la dilution, et on constate même, qu'avant d'arriver à ce maximum, l'accroissement de conductibilité très grand au début, pour une faible augmentation de dilution, devient de moins en moins sensible, à mesure qu'on accroît la dilution, et atteint finalement un maximum.

On donne le nom de conductivité moléculaire à la conductivité d'une solution située entre deux lames conductrices parallèles, placées à un centimètre l'une de l'autre, et telles que le volume du liquide compris entre deux électrodes, renferme exactement une molécule de l'électrolyte On représente le nombre ainsi obtenu parla lettre $\mu_v$, l'*indice v* se rapportant au volume du liquide renfermant une molécule-gramme Cette conductivité moléculaire est indépendante du volume, et ne dépend que du nombre d'ions, c'est-à-dire du cœfficient de dissociation à la dilution considérée

[1] qui ne laisse en rien préjuger de ce qu'ils peuvent être = which gives no conception as to what they may be

On représente la valeur limite que prend la conductivité moléculaire pour une dilution infinie, par le symbole $\mu_\infty$.

*Loi d'Ostwald*.—Les faits qui précédent permettent le calcul du cœfficient de dissociation $\delta$ d'un électrolyte, en effet, du moment que[1] la conductivité moléculaire $\mu_v$ est proportionnelle au nombre d'ions contenus dans le volume moléculaire $v$, il en sera de même à dilution infinie, où toute la substance est sous forme d'ions

D' où $\delta = \frac{\mu_v}{\mu_\infty}$.

Ces faits forment l'expression pratique de la loi d'Ostwald qui peut être mise sous la forme suivante le degré de dissociation d'une solution est égal au rapport de la conductivité moléculaire de cette solution, à la conductivité moléculaire qu'aurait cette solution si on la diluait suffisamment pour dissocier toutes les molécules

La loi de Guldberg et Waage sur l'influence des masses actives peut être appliquée à un électrolyte de la même façon qu'à un gaz ou à une vapeur dissociée Elle peut être mise sous cette forme $\frac{m_1 m_2}{m}$ = constante C'est-à-dire que le rapport du produit des masses dissociées à la masse non dissociée est égal à une constante pour une température donnée

*Méthode de Détermination de la Conductivité Moléculaire*.—La détermination de la conductivité moléculaire d'un électrolyte se ramène à la mesure de la résistance $r$, la conductivité est l'inverse de ce nombre Pour obtenir la conductivité moléculaire, on détermine la résistance d'un cube ayant un centimètre de côté, et on multiplie ce nombre par le nombre de centimètres cubes de la solution renfermant une molécule-gramme de l'électrolyte

La mesure de la résistance se fait généralement à l'aide du dispositif connu, dit du *pont de Wheatstone*, mais qu'il est nécessaire de modifier Il est d'abord impossible de se servir d'un courant continu, par suite des phénoménes dits de polarisation On prend un courant alternatif de haute fréquence, tel que celui que donne une petite bobine de Ruhmkorff, actionnée par une petite pile au

[1] du moment que = since

bichromate ou un accumulateur. Il est bien évident que, dans ces conditions, il ne peut être question de se servir d'un galvanomètre, on a trouvé à le remplacer avantageusement par un téléphone. Ce téléphone *se tait* quand le circuit sur lequel il se trouve n'est parcouru par aucun courant

Le système peut être disposé comme il suit. en S on place la cuve électrolytique (généralement une cellule Arrhénius), en B est la bobine et sa pile, et en T se trouve le téléphone qui occupe une place identique à celle prise par le galvanomètre dans le dispositif ordinaire.

Les électrodes qui plongent dans le liquide électrolyte sont faits de disques de platine ayant presque le même diamètre que celui du vase cylindrique, ils sont fixés à un centimètre l'un de l'autre. Ces deux disques sont en communication, à l'aide de conducteurs isolés, avec les deux pôles du générateur, et sont fixés dans un couvercle en ébonite. Ces disques ne doivent pas être polis, sans quoi l'extinction du téléphone ne se fait pas convenablement Il est donc nécessaire de recouvrir les lames de platine d'une couche de platine finement divisé. On arrive à ce résultat, en opérant la platinisation des électrodes, en les prenant alternativement comme cathode dans une solution de chlorure platinique

On cherche le maximum de silence du téléphone en faisant mouvoir le *curseur d* sur le fil *adb;* ce fil est un fil de platine de diamètre uniforme, fixé sur une règle en bois de un mètre divisée en millimètres

Il est bon de faire plusieurs déterminations à concentrations diminuant D'autre part, il est nécessaire d'opérer à température bien constante; pour cela, on peut immerger le vase renfermant les électrodes dans un thermostat à 15° ou 18°, dont la température est réglée au moyen d'un régulateur de pression de gaz, ou d'une résistance métallique traversée par un courant, ou d'autres régulateurs de chaleur.

Pour se servir de l'appareil, il est nécessaire de déterminer une fois pour toutes la capacité du vase électrolytique. A cet effet, on y introduit une solution de conductivité spécifique connue, et mettant le téléphone à l'oreille, on cherche le maximum de silence. Quand on y est, on sait que l'on a. $R/ad = S/db$, d'où l'on

déduit la résistance cherchée: $S = Rdb/ad$, d'où la conductivité $C = ad/Rdb$. Comme l'on connaît la conductivité de la solution utilisée, soit $C_1$, on en tire. $C_1 = k\ ad/Rdb$. Le nombre $k$ est une constante du vase à résistance; et c'est par cette constante que doivent être multipliées les indications directes données par l'appareil.

*Force Contre Electromotrice de Polarisation—Loi de Nernst*—La loi d'Ohm peut être traduite par une expression de la forme connue $E = ir$. On donne à la quantité E le nom force électromotrice, c'est là un fait connu Mais, appliquée aux conducteurs électrolytes, la loi d'Ohm doit être traduite par une expression de la forme $E = e + ir$, dans laquelle $e$ représente quelque chose de nouveau, et auquel on a donné le nom de force contre-électromotrice de polarisation; comme il est facile de le voir, elle a un effet contraire à celui de la force électromotrice, et elle tend à s'opposer au passage du courant Elle représente la tension nécessaire pour transformer les ions en molécules, et les molécules de l'anode en ions, quand cette anode est soluble Cette tension a son siège aux anodes, et est complètement indépendante des données variables du système électrolytique considéré

*Piles Electriques*—Une pile est un appareil à électrolyse, dans lequel la force contre-électromotrice, au lieu de s'opposer au courant, tend au contraire à l'entretenir, et prend le nom de force électromotrice de la pile Cette force électromotrice dépend des phénomènes qui se passent dans l'électrolyse, elle est liée à une dissymétrie soit dans le liquide, soit dans les électrodes; pour que la pile fonctionne bien, il faut que cette dissymétrie soit durable

Une pile comprend un vase électrolytique, deux électrodes, et au moins un électrolyte, on donne le nom de pôle positif à l'électrode qui est au potentiel le plus élevé, l'autre est le pôle négatif Il y a plusieurs types de piles 1° piles à un seul liquide, 2° piles non reversibles à deux liquides, 3° piles à dépolarisant solide, 4° piles reversibles.

Le premier groupe comprend une électrode soluble, généralement en zinc, et une électrode insoluble, généralement en cuivre, baignant dans une solution acide; en réunissant le zinc au cuivre, on obtient un courant qui va du cuivre au zinc extérieurement.

La force électromotrice de ces piles tombe rapidement On dit que la pile se polarise. On augmente beaucoup la puissance de la pile et sa durée en utilisant un liquide dit dépolarisant, liquide supprimant la cause de la polarisation, c'est-à-dire l'hydrogène. On prend une solution acide de bichromate de potasse, et comme le cuivre est attaqué dans ces conditions, on le remplace par du charbon

Dans le deuxième groupe, le liquide, dans lequel baignent les électrodes est séparé en deux par une cloison en terre poreuse, et chacune des electrodes baigne dans un compartiment isolé, le dépolarisant oxydant se met dans le compartiment cathodique, le zinc baigne généralement dans une solution d'acide sulfurique, et le charbon dans de l'acide azotique fumant dans le vase central

Dans le troisième groupe le pôle positif est entouré d'un dépolarisant solide qui est, soit du dioxyde de manganèse ou de l'oxyde de cuivre Dans l'élément Leclanché, le pôle positif est une lame de charbon placé dans un vase poreux, et entouré de bioxyde de manganèse mélangé de charbon en grains Cet ensemble *plonge* dans une solution de chlorhydrate d'ammoniaque Le pôle négatif est un *bâton de zinc* qui plonge également dans cette solution

La pile dite de Daniell est une pile reversible Elle se compose de solutions de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc, séparés par une cloison poreuse. Dans la première solution plonge une lame de cuivre (pôle positif), et dans la seconde une lame de zinc (pôle négatif) Le courant va, extérieurement, du cuivre au zinc Le cuivre métallique se dépose sur la lame de cuivre, tandis que le zinc se dissout, la solution de sulfate de cuivre *s'appauvrit*, celle du sulfate de zinc *s'enrichit*

*Piles Étalons*—Pour l'obtention précise d'une force électromotrice connue, on se sert d'éléments dénommés normaux, parmi lesquels l'élément au cadmium est le plus convenable Il se compose d'un récipient en verre et en forme de H, dont les deux montants sont munis de fils conducteurs de platine; d'un côté il y a du mercure pur et sec, et de l'autre de l'amalgame de cadmium On prépare ensuite une bouillie de sulfate de cadmium qu'on verse sur l'amalgame de cadmium, et aussi une bouillie de sulfate de mer-

cure et sulfate de cadmium qu'on verse sur le mercure Les deux montants et le tube de liaison sont ensuite remplis de cristaux de sulfate de cadmium et de solution de sulfate de cadmium saturée Les deux montants sont ensuite enduits de paraffine, mais dans l'un d'eux on laisse une petite bulle d'air. Sur la paraffine on met un petit rond de liège et enfin une fermeture de gomme laque

La force électromotrice de l'élément au cadmium est de 1,0186 volts à 20°

## EXERCISE 24

### Appareils de la Chimie Industrielle

gaz d'éclairage = illuminating gas
cornue = retort
terre réfractaire = fire clay
four = oven
grille = grate
canal, canaux = flue, flues
claie = perforated wooden tray
tube d'écoulement = outlet pipe
trou de coulée = discharge opening
tige filetée = threaded rod
engrenage = gear
volant = fly-wheel, guiding-wheel
écran = screen
rectificateur = rectifier
vue en élévation = front view
serpentin chauffeur = heating coil
diaphragme = perforated plate
condenseur analyseur tubulaire = analyzer, dephlegmator
régulateur de chauffage = heat regulator
trop-plein = overflow, catch-all
reniflard = air valve
trou d'homme = manhole
niveau d'eau = water level
robinet de purge = blow valve
robinet de vidange = discharge valve
éprouvette = liquor gauge
boulon fileté = threaded bolt
écrou = nut of a bolt
roue dentée = cog wheel
rigole = little ditch, water seal
tourteau = cake
eau de lavage = wash water
trémie = hopper
chaudière à cuire dans le vide = vacuum pan
lunette = sight glass, peep hole
mousse = froth
cuiseur = man attending the vacuum pan
soupape = strike or discharge valve
levier = lever
turbine = centrifugal machine
tambour = drum
axe = axis, axle-tree
cône de frottement = friction cone
courroie = belt
frein = brake
lubréfier = to lubricate

*Appareils pour la Fabrication et la Purification du gaz d'éclairage.*—La distillation de la houille en vue de la préparation du gaz

d'éclairage est effectuée dans des *cornues* qui autrefois étaient en fonte, mais qui maintenant sont en *terre réfractaire* Ces cornues sont disposées horizontalement au nombre de 5 à 7 et même plus dans des *fours*, ceux-ci sont chauffés avec le résidu de la distillation (le coke), qui autrefois était généralement brûlé sur des *grilles* ordinaires; mais depuis 30 ans environ, le chauffage du four a subi de notables perfectionnements qui ont eu pour conséquence de réduire de moitié la consommation du combustible.

Dans le dispositif de Hasse et Vacherot, le combustible est chargé sur la grille A par l'ouverture B, munie d'une porte C fermant hermétiquement La scorie et la cendre sont enlevées par la porte E, fermant aussi hermétiquement. Si les deux portes sont fermées, l'air nécessaire pour la combustion, dont l'entrée est réglée par le registre F, pénètre dans le four en G à droite et à gauche, il traverse les *canaux* H dans la direction des flèches et arrive sur la grille par J à droite et à gauche. Les gaz de la combustion, après avoir parcouru le four dans toutes ses parties, se dirigent d'avant en arrière dans le canal de fumée K, puis en bas dans L, ensuite d'arrière en avant dans M et enfin d'avant en arrière dans N, pour s'échapper dans la cheminée. Chemin faisant, les gaz de la fumée abandonnent une grande partie de leur chaleur aussi bien à l'air de la combustion traversant les canaux H qu'à l'eau contenue dans la caisse O, qui se trouve au-dessous de la grille Comme le combustible forme toujours sur la grille une couche épaisse, la combustion est incomplète, il doit par suite se former une quantité notable d'oxyde de carbone, pour la combustion duquel de l'air est introduit par P, du côté postérieur du four, en en réglant l'afflux au moyen du registre Q, cet air traverse suivant la direction des flèches les canaux R et il arrive par S à la rencontre des gaz dégagés par le combustible L'échauffement des canaux R a lieu par le rayonnement de la maçonnerie qui les entoure

Le gaz brut qui se dégage des cornues monte par un long tuyau en fer A et pénètre par le tube couché BC dans le récipient ou barillet D, qui est généralement placé sur la partie antérieure du four et dans lequel viennent aboutir tous les tubes partant des cornues. Dans le barillet se condense une partie du goudron et

de l'eau ammoniacale, et afin que le liquide ne s'élève pas trop haut, ce récipient est muni d'un *tube d'écoulement* disposé de façon que le niveau du goudron et de l'eau ammoniacale demeure toujours au-dessus de l'orifice du tube amenant les gaz, de manière que celui-ci ne puisse pas retourner dans la cornue

Du barillet le gaz se rend dans le condenseur ou réfrigérant. Celui-ci se compose d'une série de tubes verticaux qui, supérieurement, communiquent ensemble au moyen de tubes arqués et qui, inférieurement, reposent sur une caisse quadrangulaire P Cette dernière est, suivant sa longueur et sa largeur, divisée en compartiments au moyen de cloisons Chaque compartiment est muni d'un tube abducteur *m* et d'un tube abducteur *n* Les cloisons *r* ne descendent pas jusqu'au fond de la caisse P, le liquide qui produit la fermeture hydraulique des divers compartiments peut par conséquent se mouvoir librement dans tous les compartiments de la caisse. Dans celle-ci, se rassemblent de l'eau ammoniacale et du goudron Le niveau du liquide est réglé au moyen du tube d'écoulement *d* ou par un siphon

Pour séparer les dernières traces de goudron et la majeure partie de l'ammoniaque, on fait passer le gaz à travers un laveur, dit scrubber Le laveur recommandé par Chevallet sous le nom de scrubber rationnel est formé de tronçons en fonte superposés, chaque tronçon étant séparé par des cuvettes en poterie percées d'un grand nombre de trous et surmontées de cheminées de même hauteur, tous les tronçons sont réunis au moyen de mastic de vitrier

Le gaz arrive finalement dans l'épurateur, où il se dépouille de l'acide carbonique, de hydrogène sulfuré, du sulfure de carbone, du cyanure d'ammonium, etc

Les appareils d'épuration par l'oxyde de fer consistent généralement en caisses rectangulaires en fonte fermées par un couvercle mobile en tôle, dont les rebords plongent dans une rigole ménagée à l'extérieur de la caisse et remplie d'eau A l'intérieur de la caisse sont disposées de 3 à 6 claies, sur lesquelles on étend les matières épurantes Le gaz arrive à la partie inférieure par un large tuyau, traverse les *claies*, puis pénètre entre la claie supérieure et le couvercle pour descendre ensuite par un

canal en tôle établi à l'un des angles de la caisse et communiquant inférieurement avec un tuyau par lequel le gaz s'échappe.

Le gaz épuré est recueilli dans de grands gazomètres, d'où il est envoyé aux différents lieux de consommation à l'aide de tuyaux en fonte goudronnés

*Four à Carbure de Héroult* —Le four A consiste en un creuset de graphite *a*, muni extérieurement d'un revêtement en fonte; il a la forme d'un parallélipipède de 1,80m × 1,5m. × 1,5m Il est percé d'une cavité *d*, communiquant à sa partie supérieure avec un *orifice de chargement* E, et à sa partie inférieure avec un *trou de coulée* B, pour l'évacuation du produit fondu de la réaction, ce dernier est recueilli dans le bassin *c* placé au-dessous de B La masse du four forme l'électrode négative, qui est isolée du sol par des roulettes Les conducteurs négatifs I sont fixés par des boulons sur la paroi d'arrière du four A L'électrode positive est formée par une tige de charbon D de 20 cm de côté, serrée par quatre griffes M d'une mâchoire K dont les deux plaques servent de point d'attache aux six cables du conducteur positif N. La mâchoire K est fixée à une *tige filetée* P, qui permet de la soulever ou de l'abaisser, par l'intermédiaire d'un système d'*engrenage* SR, manœuvré au moyen de la tige V et du *volant* Z

Pour préparer le carbure de calcium, un ouvrier commence par remplir le creuset, par l'ouverture E, avec un mélange de chaux pulvérisée et de coke concassé L'ouvrier chargé de la surveillance du four demeure continuellement près du volant Z, il est protégé contre la chaleur rayonnée du four par l'*écran* en mica H, il a sous les yeux un ampèremètre et un voltmètre placés dans le circuit électrique du four et fixés sur le poteau *y*. Dès que le creuset est rempli, il abaisse progressivement l'électrode en charbon D, en tournant le volant Z, de manière à échauffer la masse et à former ensuite un arc lumineux entre le charbon D et le contenu du creuset. On voit le charbon devenir rouge sur presque toute sa longueur, tandis qu'une grande flamme s'échappe par l'orifice de chargement E L'ouvrier règle la position de l'électrode d'après les indications de l'ampèremètre et surtout du voltmètre Il juge de l'état de réaction par la grandeur et la couleur de la flamme Lorsque la réaction touche à sa fin, un ouvrier

débouche le trou de coulée, pendant qu'un autre recharge le creuset par l'orifice E. Le carbure fondu s'échappe en un jet incandescent et tombe dans le bassin C où il se refroidit pendant la coulée L'électrode reste plongée dans le creuset et, par conséquent, le courant n'est pas interrompu La marche du four est donc continue, mais on procède par charges et coulées successives. On fait une coulée toutes les 40 minutes environ.

*Rectificateur pour la Purification de l'Alcool Brut*—La figure représente la *vue en élévation* d'un rectificateur Savalle, dont voici la légende explicative.

A, chaudière en cuivre ou en tôle, munie intérieurement d'un *serpentin chauffeur* et destinée à recevoir l'alcool à rectifier; B, colonne à *diaphragmes* où s'effectuent des distillations multiples, C, *condenseur analyseur tubulaire,* dont la fonction est de retourner à l'état liquide, vers la colonne B, les deux tiers des vapeurs alcooliques, et de laisser passer l'autre tiers (dont le degré est élevé) au réfrigérant; D, réfrigérant qui liquéfie et refroidit l'alcool rectifié, E *régulateur* automatique *de chauffage,* F, éprouvette pour l'écoulement de l'alcool rectifié, indiquant le volume écoulé par heure, G, dôme de vapeur pour servir, à la fin des opérations, à la séparation et à l'élimination des huiles essentielles lourdes, H, réservoir à eau froide alimentant par le tube *k* le réfrigérant et le condenseur et muni du *trop-plein o,* I, réservoir à alcool brut, où sont renvoyés aussi les alcools secondaires, *g,* tuyau conduisant les vapeurs alcooliques de la colonne au condenseur, *h* tube de retour pour les alcools faibles, *j,* tube pour communiquer la pression au régulateur, *l,* conduite des vapeurs de chauffage, *m,* trop-plein des eaux chaudes, *n,* tuyau pour charger d'alcool brut la chaudière A, 1, robinet du régulateur à vapeur, 2, sortie des eaux de condensation de la vapeur de chauffage, 3, robinet double servant à vider et à emplir la chaudière A, 4, robinet régulateur pour l'eau de condensation, 5, robinet d'écoulement des alcools secondaires, 6, robinet d'écoulement des éthers, 7, robinet d'écoulement des alcools bon-goût, 8, *reniflard* pour empêcher l'écrasement de l'appareil, 9, *trou d'homme* pour visiter le serpentin de chauffage de la chaudière, 10, 10′, 10″, *niveaux d'eau* indiquant le volume de liquide contenu dans la chaudière;

11, thermomètres indiquant les différentes phases de l'opération et le moment où il faut terminer en soutirant les huiles lourdes

L'opération de la rectification est conduite de la manière suivante, on commence par saturer exactement les acides contenus dans l'alcool brut, à cet effet, on y ajoute de la chaux vive, de la potasse perlasse et du blanc d'Espagne bien lavé, dans des proportions qui varient nécessairement avec le degré d'acidité de l'alcool, 50 gr. de chaux par hectolitre sont en général suffisants pour les alcools de betteraves L'alcool étant saturé et ramené avec de l'eau à 40 ou 50 degrés, dans le cas où il marque plus de 50 degrés, on le charge dans la chaudière A, puis on fait arriver la vapeur, après avoir ouvert le *robinet de purge* No. 2; quand le contenu de la chaudière est en ébullition, on ferme à moitié le robinet de vapeur, puis on ouvre complètement le robinet d'eau de condensation No 4 Les vapeurs alcooliques sont alors condensées en C et retournent à l'état liquide par le tuyau *h*, pour garnir successivement tous les plateaux de la colonne B Dès que tous les plateaux sont garnis d'alcool, le régulateur de vapeur commence à fonctionner, on diminue alors l'arrivée de l'eau froide dans le condensateur C, de façon à ne plus condenser que les deux tiers de la vapeur arrivant en C, l'autre tiers se rend dans le réfrigérant D et de là dans l'éprouvette E Les premiers produits marquent 94 degrés, ils sont très éthérifiques, d'une odeur âcre, forte, et généralement d'une couleur verte; on les fait écouler par le robinet No 6 dans le réservoir aux produits de mauvais goût tant qu'ils sont imprégnés de cette odeur piquante, on obtient ainsi 3 p 100 de l'alcool soumis à la rectification L'alcool s'épure ensuite graduellement, il est d'une qualité supérieure au premier, on le désigne sous le nom de moyen-goût, et on le réunit, en ouvrant le robinet No. 5 aux alcools bruts de l'opération du lendemain; après commence, par le fractionnement, le trois-six bon-goût, qui se reconnaît à sa neutralité, sa douceur et sa limpidité; il continue jusqu'à la fin de l'opération Quand le thermomètre posé sur le dôme G marque 99° à 100°, on déguste le produit dans l'éprouvette E, et on le fractionne en le renvoyant au réservoir à alcool moyen-goût, aussitôt que l'on observe que sa qualité diminue Puis, aussitôt que le thermomètre monte à 101°,

on fait cesser la production de l'alcool à l'*éprouvette* F, en ouvrant complètement le robinet d'eau de condensation No 4 Cette condensation a pour effet de maintenir l'alcool à fort degré dans le condensateur C et dans la partie supérieure de la colonne, pour empêcher ces parties de s'imprégner d'huiles essentielles Enfin, quand le thermomètre est à 102°, le liquide contenu dans la chaudière est épuisé d'alcool On ouvre alors le *robinet de vidange* de la chaudière No. 3, puis le robinet No. 12 à trois ouvertures, afin de mettre en communication la colonne et le réservoir aux huiles Enfin, on ferme immédiatement après le robinet de vapeur de chauffage, comme la pression n'est pas maintenue dans la colonne B, les plateaux se vident successivement de haut en bas sur le plateau inférieur, qui communique par le robinet No 12 avec le réservoir à mauvais-goût, à cette période de l'opération, les plateaux de la colonne ne contiennent plus que les huiles essentielles et de l'alcool mauvais-goût, que l'on réunit aux produits éthérés du début de la rectification En admettant, comme on l'a dit plus haut, que la chaudière soit chargée de produit à 50°, l'opération commence lorsque le thermomètre marque 85°, et elle est terminée dès que la température s'élève à 102°, c'est-à-dire lorsqu'il ne reste plus d'alcool dans l'eau contenue dans la chaudière

*Filtre-Presse* —Un filtre-presse se compose d'un certain nombre de boîtes carrées formées d'un cadre en fonte de 4 à 5 cm d'épaisseur, et de deux parois en tôle percées de petits trous et présentant du côté de leur face extérieure une légère concavité, qui lors du rapprochement des boîtes produit un espace vide entouré de toutes parts par les bandes massives des cadres de fonte, ces parois sont en outre munies d'une large ouverture centrale dans laquelle est engagé un petit cylindre creux, reliant les deux parois, de façon que le liquide qui doit pénétrer dans les boites ne puisse y arriver que par les petits trous Les boites sont recouvertes de chaque côté par une toile posée à cheval sur le bord supérieur du cadre et percée au niveau des ouvertures centrales; elles sont disposées verticalement entre deux plaques de fonte *e* et *f* offrant, du côté des boîtes, une capacité fermée par une lame de tôle également munie de petits trous et d'un orifice central Cette lame est aussi

recouverte d'une toile trouée en son milieu et assujettie sur le bord supérieur de la plaque au moyen d'une règle en fer et de vis Les deux plaques, dont l'une *f* est mobile et l'autre fixe, sont reliées entre elles par deux *boulons filetés g* sur lesquels reposent les boîtes, par l'intermédiaire des saillants, les boulons fixés invariablement de chaque côté de la plaque *e* à la moitié de sa hauteur, s'engagent dans les trous dont la plaque *f* est munie latéralement et viennent se fixer sur des montants, de chaque côté de *f* se trouvent en *h* des *écrous,* sur lesquels sont fixées les *roues dentées i*, qui sont commandées par le pignon central *k* et s'engagent dans une saillie de la plaque de telle sorte qu'en desserrant ou serrant la presse les écrous *t,* entraînent dans leur mouvement cette même plaque *f* et l'éloignent ou la rapprochent de *e* Au centre de la plaque fixe *e,* est pratiqué un orifice qui correspond aux ouvertures centrales des boîtes et dans lequel s'adapte un tuyau *a,* muni d'un robinet, ce tuyau communique avec la pompe au moyen de laquelle les jus troubles sont envoyés dans la presse Lorsque les boîtes, garnies de leurs toiles, sont en place et fortement appliquées les unes contre les autres, par suite du rapprochement de la plaque mobile vers la plaque fixe, la juxtaposition des ouvertures centrales donne naissance à une sorte de canal ininterrompu entre chaque boite et qui forme comme le prolongement du tuyau d'admission des jus *a* Ceux-ci ne pouvant pas pénétrer dans l'intérieur des boîtes, sont obligés de se repartir dans les espaces vides compris entre les boîtes, où ils subissent une pression énergique, sous l'influence de cette pression produite par la pompe qui refoule les jus dans l'appareil, le jus clair filtre à travers les toiles, se rassemble entre les tôles perforées et s'écoule dans une *rigole* par les robinets *d,* adaptés à l'un des angles inférieurs des boîtes, les particules solides, qui ne peuvent pas traverser les toiles, restent entre celles-ci sour forme de *tourteaux* Lorsque la filtration est arrêtée ou que le liquide ne sort plus que goutte à goutte, on fait passer dans le filtre d'abord un courant de petit jus (*eau de lavage* d'opérations précédentes) et ensuite de l'eau aussi chaude que possible, afin de laver les tourteaux et d'en extraire ainsi la majeure partie du jus. On éloigne ensuite la plaque mobile *f* en desserrant la presse, puis on écarte

les boîtes les unes des autres et à l'aide de couteaux en bois on détache les tourteaux des toiles filtrantes Ceux-ci tombent dans une *trémie* et ensuite dans des wagonnets qui les transportent au-dehors

*Chaudière à Cuire Dans le Vide*—Dans la fabrication du sucre, le sirop sortant des filtres est envoyé dans la chaudière à cuire Cette chaudière est en fonte revêtue d'une enveloppe en bois et chauffée au moyen de trois serpentins intérieurs superposés *a, b* et *c*, chaque serpentin est muni extérieurement d'un robinet adapté sur un tuyau T, au moyen duquel on fait arriver de la vapeur directe des générateurs Grâce à cette disposition, on peut, suivant la hauteur du sirop dans la chaudière, chauffer d'abord par le premier serpentin inférieur seul, puis par le second, et lorsque le niveau du sirop dépasse le troisième serpentin et jusqu'à la fin de la cuite, introduire la vapeur dans les trois serpentins simultanément Le tuyau T, sur lequel sont adaptés les robinets, porte un tube étroit *t*, qui est mis en communication avec un manomètre M indiquant la pression de la vapeur de chauffage, et que l'on peut consulter en même temps que P, l'indicateur de la température et de la pression intérieures A peu près au niveau du serpentin supérieur, s'adapte un tube à robinet H, par lequel on fait arriver le sirop filtré contenu dans un réservoir inférieur

La chaudière à cuire est en outre pourvue 1° de quatre *lunettes* en cristal L, laissant voir à l'intérieur la surface du sirop en ébullition, 2° d'un entonnoir G, destiné à introduire un peu de graisse fondue, lorsque l'ébullition est trop tumultueuse et que la *mousse* produite par le sirop menace de déborder par le tube de dégagement de la vapeur, 3° d'un piston plein en bronze ou sonde, glissant à frottement doux dans un petit corps de pompe, et amenant au dehors, lorqu'on le tire par sa poignée, un échantillon de sirop contenu dans la petite cavité dont il est muni, avec l'échantillon ainsi obtenu le *cuiseur* se rend compte de la marche de l'opération, 4° d'une large *soupape* qui ferme son fond et que l'on ouvre au moyen d'un *levier,* lorsque la cuite est terminée, pour évacuer le contenu de la chaudière; 5° d'un robinet à air R, enfin, 6° d'un tuyau B par lequel sont aspirés, à l'aide d'une pompe horizontale à air, d'abord l'air, lorsqu'on commence à faire le

vide dans l'appareil, et ensuite la vapeur résultant de l'évaporation du sirop.

*Turbine*—Pour opérer la séparation du sucre et du sirop, on se sert des appareils désignés sous le nom de *turbines* La turbine des sucreries se compose d'un *tambour s* en toile métallique fine, ouvert par en haut et maintenu extérieurement par une enveloppe en tôle percée de trous Ce tambour est mis en mouvement, avec une vitesse de 1000 à 1500 tours par minute, à l'intérieur du réservoir en fonte A, et dans ce but l'*axe o,* qui le traverse, porte à son extrémité supérieure un *cône de frottement b,* garni de cuir qui est mis en activité à l'aide d'un plateau en fonte *a*, ce dernier est porté par un axe horizontal recevant son mouvement par l'intermédiaire de la *poulie c* et d'une *courroie* sans fin Un ressort *d*, qui s'applique sur l'un des bouts de l'axe horizontal, met en contact et maintient dans cette position le plateau *a* et le cône *b*, lorsque l'appareil est en activité, et une vis de pression à volant *e*, appuyant par son extrémité conique sur l'autre bout de l'axe, permet, quand on veut arrêter le mouvement de la turbine, d'éloigner le plateau *a* du cone *b* et par suite de supprimer l'action du ressort Comme, en vertu de la vitesse acquise, l'appareil tournerait encore pendant quelque temps après l'écartement du plateau *a*, on fait agir sur l'axe *o*, à l'aide du levier *h*, un ressort circulaire ou *frein g*, qui met immédiatement la turbine au repos Le réservoir A est muni au niveau de son fond d'un ajutage *t*, par lequel la mélasse s'écoule, après avoir traversé les parois du tambour Par l'entonnoir *l*, on verse de temps en temps de l'huile, afin de *lubréfier* le pivot de l'axe *o* et la plaque d'acier sur laquelle il repose Enfin, un petit tube à robinet permet de faire arriver un jet de vapeur sur le sucre déjà égoutté et claircé au sirop

On emploie depuis quelque temps des turbines dont la partie inférieure est complètement libre, le mouvement étant communiqué au tambour intérieur au moyen d'un dispositif établi au-dessous de l'appareil.

# PART II.

## Selections for Advanced Reading.

### LA CHIMIE.

PAR ANDRÉ JOB.

*(Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.)*

From *La Science Française*, Vol I Compiled by the Ministère de l'Instruction Publique et des Beaux-Arts, Paris, for the Exposition of San Francisco, 1915

LAVOISIER est considéré, à juste titre,[1] comme le fondateur de la Chimie moderne. Mais lui-même eut des maîtres éminents, parmi lesquels ROUELLE, et il avait eu en France un précurseur, le médecin JEAN REY qui, en 1630, dans un mémoire longtemps inconnu avait signalé, avant Boyle et Mayow, la cause de l'augmentation de poids des métaux par la calcination Le grand mérite de Lavoisier fut de reconnaître clairement la signification et la généralité de ce phénomène, et surtout de comprendre l'importance de la pesée Avec lui la chimie devient quantitative; une méthode expérimentale impeccable fondée sur la comptabilité des masses[2] permet de fixer la notion d'élément et assure le principe même de l'analyse. Dans sa carrière trop courte il eut le temps de démontrer lui-même toute la portée de sa méthode, et ses mémoires sont de véritables modèles de lucidité élégante et de logique féconde. A la science renouvelée par son génie il fallait un langage nouveau plus expressif et plus clair. GUYTON DE MORVEAU, FOURCROY, BERTHOLLET, et la pléiade des savants de cette époque s'ingénièrent à le créer; ils adoptèrent une 'nomenclature' raisonnée dont l'usage s'est conservé jusqu'aujourd'hui.

En même temps la recherche chimique, assurée désormais dans sa marche, s'active dans tous les domaines qui lui sont ouverts C'est en chimie minérale où la diversité des éléments est si grande, que l'analyse va d'abord porter la lumière. Non seulement les éléments des minéraux vulgaires vont être isolés, mais, grâce à

[1] à juste titre = justly.

[2] comptabilité des masses = checking of weights

la précision croissante des caractères et à l'identification plus certaine des espèces, on verra surgir des éléments nouveaux. On peut dire que, dans l'une et dans l'autre voie, la contribution des chimistes français, continuateurs de Lavoisier, a été considérable Après que Davy, en Angleterre, eut isolé le potassium par l'électrolyse, ce furent GAY-LUSSAC et THÉNARD qui indiquèrent véritablement la préparation des métaux alcalins. A l'aide du sodium, SAINTE-CLAIRE-DEVILLE réussit à son tour à donner une préparation pratique de l'aluminium. Et avec le sodium encore, PÉLIGOT prépare l'uranium métallique, après avoir montré que le soi-disant uranium électrolytique est seulement un oxide Enfin MOISSAN, par l'électrolyse, isole le plus actif des métalloides, le fluor, qu'aucun chimiste avant lui n'avait pu mettre en liberté La plupart de ces réductions se faisaient par voie sèche, aussi les chimistes acquirent-ils une grande habileté dans la technique du feu et dans l'exploration des hautes températures C'est ainsi qu'ils réussirent à affiner le platine (DEVILLE et DEBRAY) et qu'ils apprirent à reconstituer les minéraux des roches (EBELMEN, DEVILLE et CARON, FRÉMY et VERNEUIL, HAUTEFEUILLE, etc ) Et plus récemment, Moissan, après avoir cherché le diamant, qu'il semble bien avoir reproduit, sut tirer[1] du four électrique les métaux réfractaires, les carbures métalliques et toute une série d'espèces

Parmi les éléments inconnus que l'analyse fit surgir, les premiers et les plus importants furent le brome, découvert par BALARD, et l'iode, que découvrit COURTOIS et dont Gay-Lussac fit une magistrale étude Ainsi se complétait d'une manière frappante, la famille des éléments halogènes. Ce fut l'origine de la classification des métalloides par DUMAS Cette classification était destinée à entrer dans un cadre plus vaste, avec la loi périodique de Mendéleieff Mais il convient de signaler qu'avant Mendéleieff la loi périodique fut reconnue en France par BEGUYER DE CHANCOURTOIS[2] Il enroule une hélice sur un cylindre vertical, y distribue les symboles des éléments à des altitudes proportionnelles aux poids atomiques et reconnaît que les éléments analo-

[1] sut tirer = was able to obtain

[2] Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Avril, 1862

gues de chaque groupe viennent se placer ensemble périodiquement, sur la même génératrice du cylindre (vis tellurique) Cependant, les progrès de la physique fournissent des procédés d'identification de plus en plus délicats, et grâce au spectroscope (Bunsen), LECOQ DE BOISBAUDRAN va découvrir le gallium, et LAMY le thallium, à la place prévue dans la classification. De même, dans le groupe si complexe et si étroitement uni des terres rares, le spectroscope permettra de discerner les éléments jumeaux Lecoq de Boisbaudran, DEMARÇAY, URBAIN, ont excellé dans ces recherches. On leur doit la définition du samarium (Lecoq de Boisbaudran), des composants du didyme (Demarçay), du lutécium (Urbain) Enfin, la radioactivité, découverte par BECQUEREL sur l'uranium, révèle à CURIE et à Mme. CURIE, dans les minerais d'uranium, un élément radioactif inconnu, le radium La découverte du radium est grosse de conséquences. C'est une science nouvelle qui commence, la science des éléments périssables et de leur filiation

Les éléments étant trouvés, la tâche des chercheurs est de reconnaître toutes les voies par lesquelles ils entrent en combinaison Parmi les composés qui prennent naissance, il en est de plus importants que leur activité désigne comme générateurs d'espèces nouvelles. Ce sont ceux-là qui ont particulièrement fixé l'attention de nos chimistes Tels les acides dont l'étude fut par eux incessamment poursuivie (DUMAS, PÉLIGOT, MILLON, CLÉMENT et DESORMES, BERTHELOT) ; ou les peroxydes comme l'eau oxygénée (THÉNARD) et l'ozone (HAUTEFUILLE et CHAPUIS) ; ou les complexes métalliques instables, composés du platine (DEBRAY, JOLY et leurs élèves), composés du chrome (RECOURA), etc

Mais pour la conquête et la systématique des espèces nouvelles, c'est la chimie organique qui fournit un inépuisable domaine, et là va s'affirmer mieux encore la tendance francaise vers la généralisation et la clarté Quand on considère l'infinie variété des matériaux organiques naturels et la complexité de leurs mélanges, on comprend que la première difficulté fut d'en extraire des espèces définies Les chimistes s'efforcèrent d'abord de les atteindre (principes immédiats). Dans cette voie il faut citer

VAUQUELIN et PROUST, qui furent des analystes très habiles, surtout CHEVREUL, qui sut aborder le problème de la diagnose des matières grasses, et se révéla comme un maître. Après eux la détermination des produits animaux et végétaux occupa des chimistes de grand talent comme BRACONNOT, DESSAIGNES, PELLETIER et CAVENTOU, ROBRIQUET, plus tard BERTHELOT, BOUCHARDAT, ARMAND GAUTIER, MAQUENNE, etc. Les principes immédiats étant isolés, on les soumet ensuite aux réactifs qui les transforment Généralement ils se résolvent en composés plus simples. Les graisses se dédoublent ainsi en glycerine et acides gras. C'est la grande découverte de Chevreul. De même, l'hydrolyse dédouble les glucosides. Elle décompose la gélatine, d'où Braconnot extrait le premier des aminoacides, le glycocolle Un peu plus tard, SCHUTZENBERGER, dans un travail resté célèbre, étudie la dégradation ménagée des matières albuminoides, caractérise les aminoacides qui en dérivent et prépare la voie aux recherches modernes sur les polypeptides. Mais ces dégradations ne font que multiplier les espèces, et plus elles se multiplient, plus se fait sentir le besoin de les classer.

Une idée maîtresse guida les premiers essais de classification, l'idée de la fonction chimique. La fonction désigne, non pas seulement une propriété, mais un ensemble de propriétés communes à un groupe de substances. Ainsi, de la comparaison de l'esprit de bois avec l'alcool de vin, et de celui-ci avec l'huile de pommes de terre est née la notion d'alcool ou de fonction alcool Cette notion de la fonction alcool, qui fut nettement précisée par Dumas et Peligot, dans leur travail classique sur l'esprit de bois, se montra singulièrement féconde En effet, si l'alcool se multiplie par voie d'homologie, chacun de ses dérivés (aldéhyde, acide, carbure, etc.) va se multiplier de même en séries parallèles Dès lors, c'est tout un domaine de la chimie organique soumis à une coordination régulière, et tout un vaste programme dressé d'avance pour la recherche

Pourtant, il ne suffit pas de préparer des cadres à la multiplicité des espèces Il faut encore connaître les conditions de leur genèse et lois de leur filiation Elles trouvent leur parfaite expression dans la théorie atomique Or, c'est en France que

cette théorie a pris sa forme précise et son premier développement. Chercher des lois, c'est prendre des repères fixes parmi les métamorphoses de la matière, c'est mettre en évidence des invariants. Un premier invariant est la masse; un autre invariant est le nombre proportionnel de l'élément dans ses combinaisons (Dalton) et si l'on considère en particulier la combinaison à l'état gazeux, la simplicité des rapports de volume (loi de Gay-Lussac) interprétée par l'hypothèse d'Ampère et d'Avogrado donne aux nombres proportionnels une signification physique d'où naît la notion de molécule et d'atome. Les atomes élémentaires peuvent eux-mêmes former des groupes, sortes d'invariants provisoires qui se conservent d'une molécule à l'autre, et qu'on désigne sous le nom de radicaux Le radical du cyanogène, mis en évidence par Gay-Lussac, en est un exemple Comment les composés se forment-ils avec les atomes ou les radicaux? La théorie dualistique de BERZÉLIUS, fondée sur les considérations d'électrochimie, et valable surtout pour la chimie minérale, insistait sur les combinaisons d'addition. Mais Dumas découvre l'acide chloracétique L'importance de la notion de substitution s'impose à son esprit, et il la fait accepter par l'Allemand Liebig. Enfin, AUG LAURENT et Charles GERHARDT lui donnent toute sa valeur en l'associant à une idée neuve et féconde, celle des types chimiques Grâce à eux, la filiation réelle des espèces apparaît maintenant d'une façon claire Elle se fait par la substitution des atomes ou des radicaux dans les types WURTZ eut le bonheur de donner à la théorie son développement expérimental et d'en montrer toute la richesse Parmi les espèces qu'il a créées, les amines sont justement le modèle achevé de la conservation du type chimique Après lui, la théorie atomique subira encore une simplification, celle qu'y introduit KÉKULÉ en rapportant le type à la valeur des atomes. Mais il reste un progrès à accomplir pour arriver à l'intelligence claire de tous les assemblages d'atomes PASTEUR, qui débute dans la science par l'étude cristallographique des tartrates isomères, conçoit la notion de la dissymétrie moléculaire. Et c'est le Français LE BEL qui, en même temps que Van't Hoff, donne à cette notion son image représentative (le carbone tétraédrique) et fonde la stéréochimie. La liste serait

longue de tous les travaux importants que la théorie atomique a suscités en France. Dumas et Wurtz furent vraiment des chefs d'école et des inspirateurs de génie. On ose à peine citer, de peur d'oublier de grands noms, les savants qui ont collaboré à leur œuvre ou qui l'ont continuée (Malaguti, Regnault, Cahours, Chancel, et plus tard, Friedel, Grimaux, Jungfleisch, Armand Gautier, puis Haller, Béhal, Bouveault, Barbier et Grignard, etc.)

Dans toute cette floraison de découvertes, si les hypothèses ont servi de guides précieux, l'habileté et le tact des expérimentateurs ont joué un grand rôle. A cet égard, nous devons citer et mettre hors de pair[1] un expérimentateur qui fut en même temps un penseur de génie, Berthelot. Il fut un des premiers à comprendre toute l'importance de la synthèse en chimie organique. Mais moins soucieux de multiplier les espèces que de donner la preuve philosophique de leur filiation à partir du carbone minéral, il s'attacha surtout à créer de toutes pièces[2] les substances organiques les plus simples et les plus importantes. Il s'est borné presque toujours à des synthèses par addition (alcool, acide formique, benzine, etc.). Le nombre en est forcément limité, mais les moyens mis en œuvre, la lumière qu'ils projettent sur les mécanismes de réaction les plus délicats, sont d'un enseignement très important pour l'avenir de la chimie. Il n'est pas étonnant de trouver parmi les élèves mêmes de Berthelot de nombreux expérimentateurs de talent, et en particulier Sabatier, à qui l'on doit (en collaboration avec Senderens) l'étude pratique de l'hydrogénation par catalyse. Berthelot eut peut-être le tort d'exagérer l'importance d'ailleurs très réelle des données thermochimiques, mais il eut, d'autre part, le grand mérite de faire l'étude de la réaction chimique pour elle-même et pour son mécanisme. La même préoccupation inspirait en même temps que lui un autre chercheur de génie, Sainte-Claire-Deville, qui découvrit que les composés de la chimie minérale réputés les plus stables subissent aux températures élevées une décomposition réversible (dis-

[1] mettre hors de pair = to put in a class by himself

[2] créer de toutes pièces = to make a complete synthesis

sociation) Sainte-Claire-Deville aussi fit école[1] et suggéra de nombreux travaux (Debray, TROOST, Hautefeuille, LEMOINE, etc ) L'étude des équilibres, dont l'importance avait été pressentie par BERTHOLLET, se poursuivit plus tard avec le concours de la thermodynamique et devient la base même de la chimie physique On doit à LE CHATELIER, interprète de la pensée du mathématicien Gibbs, d'y avoir apporté, dès le début, des vues claires et fécondes

Ainsi, dans tous les domaines de la théorie, nous trouvons en France des novateurs Dans l'ordre des applications, nous les retrouvons encore. En chimie minérale, Berthollet crée l'industrie du blanchiment par le chlore, LE BLANC crée l'industrie de la soude, SCHLOESING et ROLLAND, avant Solvay, préparent en grand la soude à l'ammoniaque MARGUERITE et SOURDEVAL démontrent pratiquement la synthèse même de l'ammoniaque à partir de l'azote atmosphérique par l'intermédiaire des cyanures Sainte-Claire-Deville crée l'industrie de l'aluminium, Moissan celle du carbure de calcium Et OSMOND donne aux métallurgistes ce remarquable instrument de progrès, la métallographie En chimie organique, l'industrie des acides gras prend naissance avec Chevreul, et celles des matières colorantes avec VERGUIN, ROSENSTIEHL, LAUTH, etc. Enfin, c'est surtout dans la chimie biologique que se manifestent de la façon la plus frappante les influences réciproques de la pratique et de la science Ainsi l'étude du sol et des engrais pose le grand problème des migrations de l'azote BOUSSINGAULT, Berthelot, Schloesing et MUNTZ sont les principaux savants qui l'ont éclairci C'est également le souci des applications qui n'a cessé de diriger le grand Pasteur dans ses travaux Parti de la séparation biologique des tartrates isomères, il est conduit d'abord à l'étude des fermentations, puis des maladies des vins et des bières, enfin des virus et des vaccins. Il est inutile d'insister sur les bienfaits que l'humanité doit à ses travaux et à ceux de ses élèves (DUCLAUX, METCHNIKOFF, ROUX, etc ) Mais notons que, par un heureux retour, la chimie théorique elle-même y trouve matière[2] a de nouveaux progrès En

[1] faire école = to be a leader

[2] y trouve matière = finds ground

effet, la considération des ferments figurés ramène inévitablement à celles des ferments solubles et remet en question le mécanisme des réactions par catalyse et le rôle des infiniment petits chimiques[1] (travaux de G BERTRAND, BOURQUELOT, etc ).

Et maintenant, l'historien qui voudrait faire le recueil de tous ces travaux, dans quels monuments écrits en trouverait-il la trace? Très peu de mémoires ont été publiés séparément. Dans une bibliothèque de chimie, on ne trouve guère à l'état isolé que quelques livres d'enseignement. Toutes les recherches sont exposées dans les revues et publications collectives Encore peut-on s'étonner du peu de place matérielle qu'elles occupent Ainsi les Annales de Chimie et de Physique qui pourtant publient les principaux mémoires dans les deux ordres de sciences, n'éditent guère, en moyenne, que deux ou trois modestes volumes par an C'est que la tradition française a toujours été d'écrire court C'est que la critique de nos maîtres s'est exercée à ne retenir que les résultats qui comptent et les idées qui éclairent. Leur devise n'est pas: "toujours plus de faits," mais bien "toujours plus de lumière."

## LEÇONS SUR LE CARBONE.

PAR HENRY LE CHATELIER

(*Professeur à La Faculte des Sciences de Paris* )

**PRÉFACE.**

*Enseignement chimique.*—Poud comprendre la nécessité de modifier profondément les méthodes d'enseignement de la chimie, il suffit de comparer un cours de chimie et un cours de physique Ces deux sciences ont un objet analogue; elles étudient toutes deux les phénomènes donnant lieu à des transformations de l'énergie, c'est-à-dire puissance mécanique, calorifique, électrique ou chimique. Dans l'enseignement de la physique, on ne parle que des lois des phénomènes naturels. lois de Mariotte, de Gay-Lussac, de Ohm, de Joule, de Descartes, de Carnot, etc. Les propriétés particulières des différents corps sont passées sous silence; on ne trouve dans un traité de physique ni un indice de réfraction, ni une densité, ni une chaleur spécifique; cette ab-

[1] infiniment petits chimiques = infinitely small chemical particles

stention systématique est même parfois un peu exagérée. La partie expérimentale se réduit aux méthodes de mesures servant à établir les différentes lois. En un mot, cet enseignement est exclusivement scientifique.

En chimie, au contraire, c'est une énumération indéfinie de petits faits particuliers Formules de combinaisons, densités, couleurs, action de tel ou tel corps, recettes de préparation, méthodes d'analyses chimiques, procédés de fabrication, etc. C'est donc exclusivement de la documentation Les matériaux ainsi accumulés seront certainement très utiles pour l'établissement ultérieur de la science, mais ils ne la constituent en aucune façon pour le moment.

Cette situation tient à deux causes différentes tout d'abord à l'état d'avancement moindre de la science chimique et aussi, il faut bien l'avouer, à ce que son enseignement n'a pas suivi d'assez près le progrès de nos connaissances

L'enseignement de la chimie minérale est complètement immobile depuis soixante-quinze ans Vers 1825, Thénard et Gay-Lussac donnèrent dans leurs cours de la Sorbonne, du Collège de France, du Museum et de l'École polytechnique, une orientation toute nouvelle à cet enseignement Regnault la fixa définitivement par la publication de son petit traité de chimie dont la première édition fut rédigée sur les notes prises au cours de Gay-Lussac Toutes nos connaissances chimiques y sont classées autour des combinaisons définies, groupées elles-mêmes autour d'un de leurs éléments essentiels

On peut aisément se rendre compte[1] de la transformation accomplie à cette époque en parcourant les anciens traités des alchimistes et même celui de Lavoisier écrit à une époque où l'importance de la loi des proportions définies n'était pas encore reconnue Voici par example quelques unes des têtes de chapitres de l'ouvrage de Lavoisier

*De la combinaison du calorique.—De la formation des fluides aériformes —Nomenclature des acides —Quantité de chaleur dégagée dans les différentes combustions —De la fermentation putride —Des sels neutres, etc*

[1] on peut se rendre compte = one can get an idea

Le premier volume est entièrement consacré à l'examen de ces questions d'ordre général

Dans les ouvrages modernes, on s'attache, au contraire, à la description des corps simples et composés, à l'étude de leurs propriétés Les têtes de chapitres habituelles sont par exemple

*L'azote et ses composés oxygénés —Le fer et ses combinaisons, etc*

Chaque auteur nouveau a bien introduit dans le traité de Regnault quelques faits plus récemment découverts et en a par compensation supprimé quelques autres, mais l'ordonnance générale à été entièrement respectée Une seule tentative s'écartant réellement des traditions classiqus mérite d'être rapportée, c'est celle de Mendeleeff, son traité de chimie est conçu sur un plan tout spécial

D'autre part il faut bien le reconnaître, la science chimique est moins avancée que la physique On doit s'incliner devant cette difficulté, on ne peut pas enseigner ce que l'on ne connaît pas. Un exemple fera comprendre la nature des lacunes existantes. En physique, nous savons que tout rayon lumineux passant d'un milieu dans un autre se dévie et que cette déviation obéit à une loi précise Si dans un cas particulier nous voulons connaître la déviation d'un rayon lumineux, il nous suffira d'employer la loi de Descartes en y introduisant les indices de réfraction des corps étudiés que nous trouverons dans des tables de constantes physiques Il est absolument inutile de rien apprendre par cœur

Il n'en va pas de même en chimie; nous savons bien que beaucoup de corps se combinent entre eux, mais nous ne connaissons pas, au moins en chimie minérale, de lois permettant de prévoir d'une façon absolue, la nature et le nombre de ces combinaisons

Si nous n'apprenions pas par le détail leur existence, nous serions à chaque instant arrêtés dans les applications pratiques de la chimie Quand, au contraire, nous connaîtrons complètement les lois dont dépendent les proportions suivant lesquelles se font les combinaisons, les lois qui rattachent les différentes propriétés physiques des corps à leur composition, il nous suffira

d'avoir un recueil de contantes chimiques et nous irons chercher dans chaque cas particulier les renseignements nécessaires Mais nous n'en sommes pas encore, là[1] et pour ce motif, on ne peut avoir la prétention de calquer complètement l'enseignement de la chimie sur celui de la physique, il faut seulement tendre à s'en rapprocher.

*Méchanique Chimique*—Depuis la publication du petit traité de Regnault, un progrès capital a été réalisé dans nos connaissances chimiques, la découverte des lois de la méchanique chimique Leur précision et la généralité de leurs applications sont égales à celles des lois pondérales découvertes par Lavoisier C'est une nouvelle révolution chimique d'importance égale à la première, elle doit done amener dans l'enseignement une évolution comparable à celle qui a suivi les découvertes de Lavoisier. Mais, objectera-t-on, cette affirmation tend un peu à enfoncer une porte ouverte Depuis quelques années déjà, tous les traités de chimie consacrent un chapitre à l'exposé des lois de la mécanique chimique, ces matières figurant même dans les programmes d'examens Cette affirmation n'est qu'à moité exacte, les lois en question sont bien mentionnées dans les traités modernes de chimie, mais elles le sont le plus souvent, de façon à laisser aux étudiants l'impression qu'il s'agit là de phénomènes exceptionnels, sans importance réelle, en dehors du chapitre qui leur est spécialement consacré, il n'en est plus question au cours de l'étude détaillée des différents corps Les lois pondérales y figurent au contraire à chaque ligne, les formules de combinaisons chimiques, les équations des réactions, les résultats d'analyses, les rappellent constamment à l'esprit Aussi, les chimistes sont tellement imprégnés de ces lois pondérales qu'ils arrivent à les considérer comme des vérités innées planant au-dessus de tout contrôle expérimental Il faut maintenant atteindre le même résultat pour les lois de la mécanique chimique, les mettre en évidence à l'occasion de chaque réaction chimique, de chaque méthode

[1] nous n'en sommes pas encore là = we have not yet reached that stage

d'analyse décrite, les infuser au lecteur à son insu,[1] et même malgré lui

C'est là ce qu'on s'est efforcé de faire dans ce petit volume en insistant sur la dissociation de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone, des carbonates et des bicarbonates, sur la synthèse de l'acétylène, sur les réductions par le carbone et l'oxyde de carbone, sur les équilibres entre l'acide carbonique et les autres acides, sur les lois de Berthollet, etc. Et pour accentuer encore cette importance de la mécanique chimique, plusieurs leçons ont été consacrées à l'exposé de son développement historique La place acordée à cette partie historique est évidemment exagérée, cela a été fait volontairement pour forcer l'attention du lecteur.

*Science industrielle* —Une seconde préoccupation d'ordre tout différent a été le point de départ d'une autre modification dans l'exposé classique de la chimie L'enseignement supérieur des sciences n'a plus aujourd'hui exclusivement pour but de former de futurs professeurs, la grande majorité des élèves des facultés des sciences occuperont plus tard dans la vie des positions tout à fait étrangères à l'enseignement; il y aura des médecins, des agriculteurs, des industriels, même des rentiers L'enseignement donné dans les universités doit donc être orienté de façon à mettre leurs élèves à même de[1] s'acquitter au mieux, tant au point de vue de leur intérêt personnel que de celui de leur pays, des fonctions qu'ils auront à remplir Il faut avant tout former des esprits pratiques et cependant l'on entend constamment répéter, avec quelque apparence de raison d'ailleurs, que l'enseignement scientifique ne développe pas le bon sens, prépare mal à la lutte pour l'existence Il forme trop souvent des théoriciens, des esprits faux, en un mot le contraire des hommes d'action

Ce résultat tient à ce que l'enseignement scientifique est essentiellement analytique, ne considère jamais à la fois qu'un seul côté des choses en faisant systématiquement abstraction de toutes les autres Quand on parle de la conductibilité électrique du cuivre, on ignore intentionnellement ses autres propriétés et

[1] à son insu = unknown to him

[1] a meme de = in a position to

cependant dans toutes les applications électriques du cuivre, on ne peut empêcher sa masse, sa chaleur spécifique, sa tenacité, etc., d'exister, de se manifester à l'occasion, parfois de façon très nuisible. Dans les dynamos à grande vitesse, l'inertie du cuivre est une cause de destruction très grave. De même dans l'application de la thermo-dynamique aux machines à vapeur, on oublie trop souvent que ces machines sont construites en fonte, qu'elles sont graissées avec des matières minérales ou végétales se décomposant par la chaleur et en transportant dans la pratique cette façon d'envisager les choses, on combine des machines incapables de marcher. Sadi Carnot en terminant son mémoire sur les machines à feu insiste longuement sur cette nécessité de se préoccuper de la multiplicité des points de vue à prendre en considération pour la réalisation des problèmes industriels. L'habitude regarder les choses par un seul côté est bien la caractéristique de l'esprit faux. L'étude de la science pure tend certainement à développer cette tournure d'esprit.

Il ne peut être question, bien entendu, de renoncer à la méthode analytique dans l'enseignement scientifique, ce serait vouloir reculer de plusieurs siècles en arrière. Cette division a introduit une clarté extrême dans l'étude de problèmes dont la complexité pouvait sembler à première vue devoir défier indéfiniment nos efforts. Mais l'on pourrait, pour contre-balancer l'influence, nuisible par certains côtés, de cette méthode d'enseignement, montrer parallèlement, au moyen d'exemples concrets, comment des connaissances scientifiques multiples doivent être groupées chaque fois qu'il s'agit de faire l'étude d'un phénomène réel.

Quelques exemples de science industrielle disséminés çà et là dans un cours de science pure ou même quelques cours complets de science appliquée pourraient servir utilement à tenir l'attention des étudiants éveillée sur la complexité des phénomènes réels, sur la nécessité de faire succéder aux méthodes analytiques de la science pure, des études d'un caractère synthétique, groupant les propriétés différentes d'une même matière ensemble et de plus les classant suivant leur degré d'utilité en vue du résultat cherché, c'est-à-dire suivant leur degré de bienfaisance, pour employer

[1] mettre en relief = to bring out

l'expression de Taine C'est là le but poursuivi ici dans les leçons consacrées aux emplois industriels des combustibles ou à la combustion des mélanges gazeux On a cherché à mettre en relief[1] les points de vue multiples que chacun de ces problèmes soulève et donner une idée de leur degré relatif d'importance

Pour éviter tout malentendu, il est utile de bien spécifier que les descriptions d'industries chimiques données habituellement dans les cours de chimie ne constituent en aucune façon de la science industrielle, car elles passent complètement sous silence la raison d'être des détails de chaque procédé, les relations des faits entre eux, c'est-à-dire de tout ce qui constitue essentiellement le propre de la science. Il est crtainement bon de donner quelques indications sur les grandes industries chimiques parce que cela rentre dans la culture générale qui forme l'honnête homme Il faut avoir vu, sinon en nature, au moins en image, un haut fourneau, une chambre de plomb, une cornue Bessemer, au même titre que des tableaux de Raphael, l'arc de Triomphe ou la Tour Eiffel, mais ces descriptions rapides n'ont aucune valeur didactique, elles ne peuvent contribuer ni à la formation intellectuelle, ni au développement des aptitudes professionnelles

*Présicion des mesures*—Le dernier chapitre relatif à la détermination expérimentale des poids moléculaires vise encore un autre but La chimie souffre actuellement d'une maladie très grave, le surmenage Depuis que la science est devenue une carrière rémunérée avec un avancement régulier et la perspective d'une retraite, les chimistes se sont livrés à une production intensive, cherchant coûte que coûte à faire des découvertes pour se créer des titres à l'avancement En se plaçant à ce point de vue utilitaire, la quantité prime la qualité Quand on a la chance de tomber sur un corps assez peu intéressant pour que vraisemblablement personne n'en reprenne l'étude d'ici une dizaine d'années, c'est un placement de tout repos, les erreurs commises ne seront reconnues que lorsque le travail publié aura produit tout son effet utile A ce point de vue la chimie organique avec ses composés innombrables offre des ressources précieuses Les chimistes miné-

[1] mettre en relief = to bring out

raux, moins favorisés, se sont trop souvent laissés entraîner augmenter artificiellement le nombre des corps réels Si l'on prend les grand traîtés généraux de chimie, on peut dire hardiment que la moitié au moins des corps qui y sont décrits n'ont jamais existé. Cela présente un très grand inconvénient pour les progrès de la science. Les faits inexacts ne tiennent pas seulement de la place, ils s'opposent encore d'une façon absolue à la découverte des lois. Si la moitié des observations astronomiques utilisées par Kepler avaient été fausses, la découverte des lois qui portent son nom eût été impossible Il y a donc un intérêt majeur à donner de bonne heure aux jeunes chimistes le respect de l'exactitude, à les habituer non seulement à employer des méthodes de mesures, mais encore à discuter leur degré de précision, à faire en toutes circonstances la critique systématique de chaque résultat expérimental On a pris comme exemple de discussion semblable la détermination des poids moléculaires, on pourrait aussi bien d'ailleurs développer les mêmes idées à l'occasion de mesures différentes, d'analyses chimiques, par exemple

*Hypothèses atomiques*—Dans ce petit volume enfin, on a pris nettement position sur une question qui divise depuis longtemps et divisera sans doute toujours les savants On a systématiquement écarté toute hypothèse relative à la constitution de la matière Ces hypothèses peuvent certainement rendre les plus grands services à un esprit déjà formé, capable de s'en servir sans y croire, les envisageant seulement comme un outil de travail bon à mettre de côté le jour où il aura cessé de rendre des services; elles sont au contraire très dangereuses dans l'enseignement en habituant de jeunes esprits à l'imprécision, qui est le plus redoutable ennemi de la science Trop souvent même, on arrive à croire fermement à ces imaginations, à se mettre ainsi un bandeau sur les yeux empêchant de voir les faits expérimentaux les plus évidents Quand on voit ce qui est advenu des deux fluides de l'électricité, des projectiles de la théorie lumineuse de l'émission, des molécules en caoutchouc de Berthollet, des atomes insécables de Dalton, on a le droit de conserver quelque inquiétude sur l'avenir réservé aux ions et aux électrons

Au fond, il faut bien le reconnaître, le différend porte surtout sur une question de sentiment, c'est-à-dire appartient à un domaine où la discussion est sans autorité. Les uns ne trouvent à la vérité toute sa grâce que lorsqu'elle est parée d'ornements à la mode du jour, d'autres préfèrent admirer sa fière beauté dégagée de tous voiles. A chacun la liberté de prendre sa joie où il la trouve.

Le 29 Mai 1908.

## FLUOR.

$F = 19$

Par HENRI MOISSAN,

Membre de l'Institut, Professeur à l'Université de Paris

*Traité de Chimie Minérale* par H Moissan, Vol I, p 64.

*Etat Naturel*—Le fluor est l'élément le plus actif de la chimie, aussi ne se rencontre-t-il dans la nature qu'à l'état de combinaison, toutefois sa présence à l'état libre a été signalée exceptionnellement par Becquerel et Moissan dans la fluorine de Quincié (France) Quelques auteurs avaient déjà observé que certains échantillons de fluorine émettaient parfois au moment de leur pulvérisation, une odeur pénétrante particulière, rappelant celle de l'ozone ou des composés oxygénés du chlore. Diverses hypothèses furent émises sur la nature de ce dégagement gazeux odorant, qui fut considéré tour à tour comme étant dû à l'acide hypochloreux, à l'ozone ou même à du fluor, soit libre, soit qu'il provînt de la dissociation d'un perfluorure Les expériences de Becquerel et Moissan ne laissant subsister aucun doute sur ce sujet, et le fluor libre a été nettement caractérisé Depuis, Lebeau a également retrouvé du fluor libre dans des inclusions, de couleur foncée, de l'émeraude de Chanteloube, (France)

Les véritables minerais de fluor sont la fluorine $CaF_2$ et la cryolithe $Al_2F_6$, $6NaF$ On rencontre encore cet élément comme principe constituant d'un assez grand nombre d'espèces minérales beaucoup moins abondantes telles que la fluocérine, la basicérine, l'yttrocérite, la topaze, etc Le fluor se trouve en petite quantité

dans les apatites et les différentes variétés de phosphates naturels. Sa présence a été également signalée dans beaucoup de minéraux silicatés Quelques eaux minérales contiennent une petite quantité de fluorures solubles. L'une des plus riches en fluor serait celle de Gerez (Portugal), qui renfermerait 22 à 25 milligrammes de fluorures alcalins par litre.

A l'état de fluorure de calcium, le fluor existe dans les os fossiles, où il fut déjà signalé en 1806 par Proust et par Delamétherie Ce fait a été confirmé par différents auteurs, et le fluor a été rencontré ensuite dans les os des animaux vivants Carnot trouve dans les os modernes 0,20 à 0 63 de fluor de calcium et de 0,88 à 6,21 dans les os fossiles La proportion de fluor de calcium est d'autant plus grande que les fossiles appartiennent à une époque géologique plus ancienne. L'émail des dents renferme également du fluor de calcium, 0,65 à 1,40 pour 100 d'après Wrampelmeyer La présence de ce fluorure a été encore caractérisée dans diverses autres parties de l'organisme animal et particulièrement dans le cerveau, dans le sang et dans le lait Dans le règne végétal, on en trouve également dans les cendres des végétaux, notamment dans celles des graminées Les fluorures avaient d'ailleurs été décélés déjà dans les bois fossiles et dans la houille.

*Préparation* —L'acide fluorhydrique, rigoureusement anhydre, ne conduit pas l'électricité, ainsi que l'ont observé divers expérimentateurs Moissan, qui fit la même constatation, parvint à le rendre conducteur en y dissolvant du fluorhydrate de fluorure de potassium Grâce à l'intervention de ce sel, un courant électrique, d'intensité suffisante peut produire la décomposition de l'acide avec dégagement d'hydrogène au pôle négatif et de fluor au pôle positif L'appareil primitivement employé par Moissan était en platine; des recherches plus récentes lui ont permis de remplacer ce métal coûteux par le cuivre.

L'électrolyseur se compose d'un tube en U en cuivre, de 500cc de capacité, dans lequel on introduit 200cc d'acide fluorhydrique anhydre et 60 gr, de fluorhydrate de fluorure de potassium. Chacune des branches de ce tube est fermée à l'aide d'un bouchon

à vis dans lequel est serti[1] un cylindre de fluorine traversé lui-même par une électrode en platine. Cette électrode est terminée en forme de massue, et pénètre à une petite distance de la courbure du tube Ce dernier porte en outre sur chaque branche un tube à dégagement Celui qui communique avec l'atmosphère sert au dégagement de l'hydrogène, l'autre est relié à un serpentin de cuivre refroidi à—80° puis à une série de tubes renfermant du fluorure de sodium sec Ces appareils ont pour but de retenir l'acide fluorhydrique entraîné par le courant de fluor. Les joints sont obtenus à l'aide de serrage, au moyen d'un écrou, d'ajutages tronconiques qui viennent écraser de petites rondelles de plomb

La mise en marche d'une expérience exige la préparation préalable de l'acide fluorhydrique anhydre L'acide fluorhydrique est refroidi énergiquement et versé aussi rapidement que possible dans le tube en U, qui est lui-même à la température de —50°. On ajoute ensuite le fluorhydrate de fluorure de potassium par petites portions On ferme l'appareil, et l'on ajuste les différentes parties, puis on fixe sur les électrodes les fils conducteurs permettant de faire passer le courant. Après quelques minutes le fluor se dégage très régulièrement Avec un courant de 50 volts et de 15 ampères, on obtient un rendement d'environ 5 litres par heure En maintenant le serpentin de cuivre à —80° et en employant deux ou trois ampoules à fluorure de sodium, le fluor dégagé est pur et complètement débarrassé d'acide fluorhydrique On peut le recueillir par déplacement et même le conserver dans des flacons en verre très propres et bien secs

Les réactions accomplies dans cette électrolyse sont assez complexes Elles ne comprennent pas seulement la décomposition de l'acide fluorhydrique et du fluorure de potassium, mais le platine de l'électrode positive intervient aussi On constate en effet que cette électrode est assez rapidement corrodée et qu'une petite quantité de platine entre en solution, en même temps qu'il se dépose au fond du tube un composé de platine, de potassium et de fluor ou d'acide fluorhydrique.

C Poulenc et M. Meslans ont étudié la préparation du fluor au point de vue industriel Ils ont décrit un appareil en cuivre

[1] est serti = is set

dans lequel ils ont substitué au tube en U de Moissan un dispositif à diaphragme Ce dernier est constitué par une paroi de cuivre perforée, qui, au début de l'électrolyse, se recouvre d'une couche isolante de fluor de cuivre. L'anode est en platine mais refroidie intérieurement. Elle est fixée sur cuivre et placée de telle sorte que le fluor, une fois libéré, n'est plus en contact qu'avec des parois de cuivre L'isolement des différentes parties de l'appareil est obtenu avec le caoutchouc.

*Propriétes Physiques*—1° Fluor gazeux—Le fluor est un gaz coloré sous une épaisseur de 1 mètre, il possède une couleur jaune verdâtre, plus faible que celle du chlore La teinte s'approche davantage du jaune La densité de cet élément a été trouvée égale à 1,26. La densité calculée pour F = 19,05 est 1,314 Brauner attribue cette différence à l'existence d'un mélange d'atomes F et de molécules $F_2$ La détermination de cette densité a été faite par Moissan au moyen d'un flacon de platine muni d'un dispositif rappelant l'appareil de Chancel

Le coefficient de dilatation du fluor gazeux, calculé par Sperber, serait 0,000304

Le spectre d'émission du fluor a été étudié par Moissan qui a reconnu 13 raies placées dans la partie rouge du spectre Les spectres observés et comparés étaient produits par l'étincelle électrique jaillissant entre des électrodes d'or ou de platine au sein du fluor ou d'un composé fluoré gazeux, tel que le fluorure de silicium, le tétrafluorure de carbone, le trifluorure de phosphore, etc Salet avait antérieurement, par la comparaison des spectres du chlorure et du fluorure de silicium, attribué 5 raies au spectre du fluor Elles concordent sensiblement avec celles déterminées par Moissan

2° *Fluor Liquide*—Le fluor se liquéfie par son passage dans un tube de verre maintenu dans l'air liquide bouillant, sous pression normale Si le tube est plongé dans l'oxygène liquéfié, la liquéfaction n'a plus lieu que si ce dernier bout sous pression réduite (32,5 cm. de mercure). Le point d'ébullition est voisin de —187°. La solidification du fluor ne s'effectue pas à —210° La densité approchée du fluor liquide est 1,14 à —200°. En se servant de

cette donnée et après corrections, Ramsay et Drugmann ont calculé D = 1,10 Pour un abaissement de température de —187° à —210°, ce corps subit une diminution de volume de 1/14.

Le fluor liquide n'est pas magnétique, il ne possède point de spectre d'absorption pour une épaisseur de 1 centimètre. Sa constante capillaire est plus faible que celle de l'oxygène liquide. Toutes ces déterminations ont été faites par Moissan et Dewar

3° *Fluor Solide.*—La solidification du fluor a été produite récemment par Moissan et Dewar Le fluor gazeux était emprisonné dans un tube de verre scellé, terminé à l'une de ses extrémités par une partie plus étroite que l'on plongeait dans l'hydrogène liquide Le fluor se condensait rapidement à l'état liquide, puis prenait l'état solide En maintenant le tube dans l'hydrogène liquide un temps suffisant pour que la matière atteigne la température de 20°, 5 absolus, le fluor solide devenait blanc Ce phénomène de décoloration est identique à celui que l'on observe pour le chlore, le brome et le soufre Le point de fusion du fluor est voisin de 40° degrés absolus, c'est-à-dire de —223° du thermomètre centigrade Le rapport de la température de fusion à celle de l'ébullition est un peu plus faible que les rapports correspondants pour le chlore et le brome

*Propriétés Chimiques*—1° Fluor gazeux—Action sur les métalloïdes—L'hydrogène se combine au fluor à froid et à l'obscurité sans l'intervention d'une énergie étrangère Le fluor se dégageant, à l'extrémité d'un tube de platine, dans une atmosphère d'hydrogène brûle avec une flamme bleue bordée de rouge, en produisant de l'acide fluorhydique (H. Moissan).

Le chlore ne produit avec le fluor aucune réaction sensible Le brome réagit à froid avec production d'une flamme peu éclairante L'iode est également attaqué avec flamme, en donnant un liquide incolore fumant à l'air, le pentafluorure d'iode $IF_5$ (H. Moissan)

Le fluor et l'oxygène ne paraissent pas devoir se combiner directement, le mélange des deux gaz ne donne lieu à aucun phénomène calorifique appréciable. L'ozone même semble être sans action.

La combustion du soufre dans le fluor a lieu à la températur ordinaire avec une flamme blafarde. Si le verre n'intervient pas dans la réaction, on obtient l'hexafluorure de soufre $SF_6$ à peu près pur. Le sélénium et le tellure s'unissent aussi au fluor avec incandescence.

Le fluor et l'azote n'ont pu jusqu'ici être combinés. Le phosphore fournit avec le fluor du pentafluorure de phosphore $PF_5$. A la température ordinaire, l'arsenic donne avec le fluor un liquide fumant, incolore, ayant les propriétés du trifluorure d'arsenic $AsF_3$ La réaction a lieu avec incandescence Dans les mêmes conditions l'antimoine fournit un fluor solide blanc.

Le bore pur brûle à froid dans le fluor avec incandescence et production de trifluorure de bore $BF_3$.

Le carbone s'unit d'autant plus facilement au fluor qu'il est moins polymérisé Les variétiés amorphes non calcinées brûlent à froid, le graphite exige une température un peu inférieure au rouge, le diamant n'est pas sensiblement attaqué vers 700°.

Le silicium amorphe ou crystallisé réagit sur le fluor énergiquement à froid, avec une vive lumière et formation de fluorure de silicium $SiF_4$

*Action sur les Métaux*—Les métaux alcalins se combinent à la température ordinaire au fluor gazeux Il y a incandescence et formation de fluorures

Le calcium produit de même une réaction très violente, et le fluorure de calcium qui en résulte est presque toujours fondu

Le thallium, mis au contact du fluor à froid, se recouvre d'abord d'une couche blanche, puis entre en fusion[1] et est porté au rouge Il se transforme entièrement en une masse liquide brune qui se solidifie par refroidissement

Le magnésium, en lingots ou en fils, est attaqué superficiellement à froid Au rouge sombre et à l'état de limaille, il brûle avec beaucoup d'éclat en donnant un fluorure blanc Le zinc ne se combine pas à froid au fluor; par une faible élévation de température, la combination se produit avec une vive lumière

[1] entre en fusion = starts to fuse

Une tige de fer polie placée dans une atmosphère de fluor se recouvre aussitôt d'une couche légère de fluorure L'attaque ne se continue que très lentement Le fer porphyrisé se comporte de même, mais au-dessous du rouge il se produit une vive incandescence et il se dégage des vapeurs très denses. Le fer réduit par l'hydrogène se combine à froid avec une très grande énergie et formation d'un fluorure de fer anhydre blanc, soluble dans l'eau Le manganèse et le chrome pulvérisés et légèrement chauffés brûlent avec éclat dans le fluor.

L'aluminium bien décapé[1] se recouvre, en présence du fluor, d'une petite couche de fluorure d'aluminium qui empêche une attaque plus profonde Si l'on porte l'aluminium au rouge sombre, la réaction devient vive et donne du fluorure d'aluminium avec incandescence.

Le fluor ne réagit pas à froid sur le molybdène en fragments; mais, lorsque ce métal est grossièrement pulvérisé, il se fait un fluorure volatil Le tungstène est attaqué à la température ordinaire en donnant également un fluorure volatil L'uranium en poudre fine, préparé par électrolyse, prend feu dans le fluor; il brûle avec un grand éclat et produit un fluorure volatil de couleur verte

L'étain paraît se combiner lentement à froid au fluor, à 100°, il se produit une réaction énergique avec formation d'un fluorure blanc Le bismuth donne seulement au rouge sombre un enduit de couleur foncée.

Le plomb peut être complètement transformé à froid en un fluorure blanc A chaud, il y a incandescence et production de fluorure de plomb fondu Le mercure est attaqué dès qu'il est en contact avec le fluor, alors même que ce dernier est dilué dans un autre gaz Cependant la couche de fluorure formé ralentit considérablement l'attaque, et l'on peut conserver une éprouvette de fluor retournée sur le mercure pendant un temps assez long

En présence du fluor le cuivre ne donne à froid qu'un enduit très superficiel qui protège le métal, la transformation complète en fluorure n'a lieu qu'au rouge Cette propriété du cuivre, et

[1] bien décapé = well cleaned or well scoured

celle qu'il possède de n'être pas attaqué par l'acide fluorhydrique anhydre, ont permis de substituer ce métal au platine pour la fabrication des appareils à fluor

L'argent ne donne à la température ordinaire qu'une attaque très lente, qui devient sensible déjà à 100°, et qui s'accélère au fur et à mesure que[1] la température s'élève La limaille d'argent, portée au rouge sombre, dans un courant de fluor, se transforme en fluorure avec incandescence

L'or n'est pas attaqué à froid Au rouge sombre, des fils d'or, maintenus dans un courant de fluor, se recouvrent d'une substance jaune chamois très hygroscopique

Le fluor pur réagit fortement sur le platine vers 500 à 600°, en donnant le fluorure $PtF_4$ et une petite quantité de protofluorure. Le palladium, le ruthénium et l'iridium ne sont pas attaqués à froid par le fluor, mais fournissent des fluorures au-dessous du rouge sombre Le fluorure de ruthénium est volatil et sa vapeur est fortement colorée

*Action sur les Composés Hydrogénés des Métalloides*—Les hydracides halogénés, sauf l'acide fluorhydrique, sont violemment décomposés par le fluor lorsqu'ils sont à l'état gazeux ou à l'état de solution aqueuse Il y a production du métalloide correspondant et d'acide fluorhydrique

Le fluor décompose l'eau à la température ordinaire avec formation d'acide fluorhydrique et d'ozone La combustion du fluor se produit au contact d'une atmosphère d'hydrogène sulfuré, en donnant lieu à des composés fluorés de soufre et à de l'acide fluorhydrique En présence du gaz humide, il se forme surtout du fluorure de sulfuryl $SO_2F_2$

Le gaz ammoniac est décomposé par le fluor, avec production d'une flamme jaune Dans la solution ammoniacale, chaque bulle de fluor produit une flamme accompagnée de détonations (H Moissan)

*Action sur Quelques Anhydrides de Métalloides*—L'action du fluor sur le gaz sulfureux est assez différente, suivant les conditions de l'expérience Lorsque l'on fait arriver quelques bulles

[1] au fur et à mesure que = as

d'anhydride sulfureux dans une éprouvette de verre remplie de fluor, la combinaison est violente, elle se produit avec explosion et une grande partie du gaz est rejetée hors de l'éprouvette. Dans ces conditions, il se forme un mélange de fluorure de thionyle, d'oxygène et d'une petite quantité d'un oxyfluorure de soufre, non absorbable par l'eau et décomposable par une solution alcaline. Au contraire, si l'on fait arriver le courant de fluor dans une atmosphère de gaz sulfureux, il ne se produit pas de réaction immédiate, mais dès que le fluor atteint dans le mélange une certaine tension, il se fait une explosion violente et l'appareil est brisé Enfin, si l'on détermine, en élevant la température, la combinaison continue du fluor et de l'anhydride sulfureux, la réaction se poursuit tranquillement et l'on obtient le fluorure de sulfuryl $SO_2F_2$

L'anhydride phosphorique est attaqué au rouge sombre avec dégagement gazeux de fluorure et d'oxyfluorure de phosphore L'anhydride arsénieux est attaqué à froid avec violence Il brûle au contact du fluor avec une flamme livide et production d'un composé liquide

L'anhydride carbonique ne réagit point à froid sur le fluor La silice est transformée à froid en fluorure de silicium et oxygène avec une très belle incandescence

La plupart des composés halogénés des métalloides sont attaqués par le fluor, dès la température ordinaire, et avec une grande énergie

*Action sur les Composés des Métaux*—Le fluor décompose les sels halogènes métalliques en déplaçant le métalloide, avec lequel il peut même se combiner dans les cas des bromures et des iodures, pour fournir un fluorure métallique. Par exemple, lorsqu'on met un fragment froid de chlorure de sodium, fondu au préalable[1], au contact du gaz fluor, il y a dégagement de chlore et formation de fluorure de sodium Le fluor déplace de même à froid le chlore du chlorure de potassium, du chlorure de calcium, du chlorure d'argent, etc Pour les chlorures de mercure, il suffit d'élever légèrement la température pour que la réaction se produise.

[1] fondu au préalable = previously melted

Dans le cas du bromure de potassium, la réaction est très vive, le brome est déplacé à froid et se combine au fluor avec flamme, en même temps qu'il se forme du bromure de potassium Avec l'iodure il se produit une réaction analogue

Le fluor réagit également d'une façon très active sur les cyanures avec formation d'un fluorure métallique

Les oxydes alcalins et alcalino-terreux sont attaqués à froid par le fluor Au contact de ces derniers, la réaction se produit avec une incandescence très vive. Pour les autres oxydes, la réaction exige le plus souvent une élévation de température Les sulfures métalliques se comportent d'une façon identique. Les azotures et les phosphures sont aussi très facilement détruits par le fluor

La plupart des sels métalliques, sulfates, azotates, phosphates, carbonates, borates, silicates, etc, sont attaqués par le fluor même à la température ordinaire Dans certains cas, la façon d'agir du fluor sur ces composés peut être considérablement modifiée par la présence d'une trace d'eau et par la formation d'acide fluorhydrique. C'est ainsi que Moissan a pu constater que le fluor bien sec ne réagissait pas sur le verre jusqu'à la température de 100° Une ampoule de verre, remplie de fluor, peut même être maintenue à cette température pendant plusieurs heures sans être attaquée

*Action sur les Composés Organiques*—L'action du fluor sur les composés organiques est généralement très violente Dès que la décomposition du corps organique a commencé, la chaleur dégagée est assez grande pour que la destruction devienne totale et qu'il ne se produise que de l'acide fluorhydrique et des fluorures de carbone Cette décomposition est surtout rapide pour les composés riches en hydrogène

Les carbures d'hydrogène sont attaqués à froid avec flamme Il se produit des mélanges gazeux dans lesquels on a caractérisé le fluorure de carbone, l'acide fluorhydrique, et souvent aussi un dépôt de charbon

Les alcools et les éthers sont attaqués à froid pour la plupart et la réaction se produit avec flamme Il en est de même pour les

aldéhydes et les acides. Toutefois, parmi ces dérivés, il en est quelques-uns qui ne s'attaquent qu'avec difficulté. Parmi les composés azotés, les amines, les alcaloides, sauf la strychnine, sont détruits par le fluor avec énergie dès la température ordinaire

Il résulte de l'ensemble de ces propriétés que le fluor possède une activité chimique très remarquable. Il n'existe pas d'élément connu qui nous présente des réactions aussi énergiques Les propriétés mentionnées ci-dessus ont été indiquées par Moissan

2° *Fluor Liquide* —Moissan et Dewar ont pu réaliser l'étude de quelques propriétés chimiques du fluor liquide

A la température de -210°, la combinaison du fluor et de l'hydrogène se produit avec un grand dégagement de chaleur et de lumière Il semble en être de même pour les composés organiques hydrogénés; ainsi l'essence de térébenthine, congelée et refroidie à —210°, s'enflamme au contact du fluor liquide.

L'oxygène liquide dissout le fluor, et si nous laissons la température s'élever, les premières portions gazéifiées sont formées d'oxygène à peu près pur, les dernières portions au contraire, très riches en fluor, possèdent les réactions de ce gaz Si l'air liquide a été abandonné à lui-même pendant quelque temps, le fluor y produit un précipité très détonant qui parait être un hydrate de fluor L'étude en est incomplète

L'iode ne réagit point sur le fluor liquide Le soufre s'y combine avec énergie en donnant une flamme bleue intense. Le sélénium réagit encore violemment Le tellure est sans action

Le phosphore et l'arsenic brûlent avec flamme au contact du fluor liquide, l'antimoine, au contraire, reste inaltéré et conserve son état métallique Il en est de même pour le bore, le silicium et le carbone, tous ces corps ont été refroidis à —210°, à l'abri de l'humidité, avant d'être mélangés au fluor liquide

Certaines réactions, produites par des corps composés sont aussi très énergiques à basse température La chaux, par exemple, est violemment attaquée, avec incandescence. Le fluor présente donc encore vers —200° une affinité chimique très grande Par contre, il ne réagit plus sur l'eau A—200°, le fluor liquéfié forme, à la surface de la glace, une couche mobile qui, par une

élévation de température d'une vingtaine de degrés, se volatilise sans réagir

3° *Fluor Solide*—Moissan et Dewar ont pu constater que l'affinité du fluor pour l'hydrogène peut encore se manifester avec énergie lorsque l'hydrogène liquide est mis en contact avec le fluor solide Une violente explosion se produit à 20° absolus L'affinité chimique se maintient donc à des températures très basses.

*Propriétés Physiologiques*—Le fluor possède une odeur très pénétrante se rapprochant de celle de l'acide hypochloreux et facile à différentier de l'odeur de l'ozone Ce gaz irrite fortement les muqueuses, alors même qu'il n'existe dans l'atmosphère qu'à l'état de trace Au contact de la peau, il provoque une vive sensation de brûlure, et il se produit une désorganisation immédiate des tissus A l'état de combinaison, son rôle biologique est encore très incomplètement connu et mériterait de nouvelles recherches

*Caractères et Analyse*—Le fluor libre se reconnaît déjà à son odeur, c'est une réaction d'une grande sensibilité Étant donnée l'activité chimique de cet élément, le nombre des réactions susceptibles de le déceler est très grand A l'état de gaz à peu près pur, il réagit sur le silicium dès la température ordinaire avec incandescence et formation de fluorure gazeux (Moissan) Il enflamme également le noir de fumée ou un fragment de liège ou de bois incomplètement carbonisé Lorsqu'il n'existe qu'en petite quantité, on pourra employer les réactions suivantes, coloration du papier ozonométrique, déplacement du chlore, du brome et de l'iode dans les chlorures, bromures ou iodures alcalins, décomposition de l'eau qui devient de suite acide avec production d'acide fluorhydrique facile à caractériser (H Moissan)

Le dosage du fluor libre peut être effectué par un très grand nombre de méthodes, mais aucune n'a été encore précisée jusqu'ici. Lorsqu'il est combiné, on l'amène généralement à l'état de fluorure alcalin et on le précipite sous forme de fluorure de calcium Dans quelques procédés de dosage, on utilise sa transformation en fluorure de silicium

*Poids Atomique*—Le poids atomique du fluor a été déterminé pour la première fois par Davy, en 1814, au moyen de la transformation du fluorure de calcium en sulfate de calcium Il trouva pour O = 16 le nombre 18,82 De nouvelles déterminations furent faites en 1818 et en 1824 par Berzelius Elles étaient basées sur l'analyse du fluorure d'argent et du fluorure de baryum; elles le conduisirent à admettre les nombres 19,165 et 19,168 En 1849, Louyet, appliquant les mêmes méthodes, trouva F = 18,99. Depuis, Frémy, Dumas, De Luca, Meyer et Seubert furent conduits à des résultats semblables Christensen procéda d'une manière toute différente, et obtint, pour H= 1, F= 18,96, ou pour O= 16, 18,99, en titrant par voie iodométrique, un dérivé ammoniacal bien cristallisé du fluorure manganique, ayant pour formule $Mn_2F_6AzH_4F$ Enfin, en 1890, Moissan trouva comme moyenne de ses déterminations portant sur l'analyse des fluorures de calcium, de baryum et de sodium purs, le nombre 19,05. La commission internationale des poids atomiques a adopté pour le fluor F = 19,00

*Atomicité*—Le fluor se comporte comme un élément monovalent.

*Applications*—Les difficultés que présente la préparation de cet élément, et aussi son prix de revient relativement élevé, en ont jusqu'ici retardé l'application à la solution des nombreux problèmes de l'industrie où il semble cependant indiqué surtout à cause de ses propriétés oxydantes

# RECHERCHES SUR LES RELATIONS QUI EXISTENT ENTRE L'OXIDE DE CARBONE ET L'ACIDE FORMIQUE

PAR M. MARCELLIN BERTHELOT, 1856

*Annales de Chimie et de Physique,* Troisième Série, Vol 46

## ÉTUDE DE LA DÉCOMPOSITION DE L'ACIDE OXALIQUE A 100° SOUS DIVERSES INFLUENCES

L'espérance d'unir directement l'oxyde de carbone naissant avec les éléments de l'eau, et d'obtenir ainsi facilement et en abondance de l'acide formique, m'a conduit à étudier la décomposition de l'acide oxalique à 100° sous diverses influences J'exposerai en quelques lignes les résultats de cette étude

1 L'acide oxalique pur, chauffé à 100° pendant longtemps, éprouve un commencement de décomposition au bout de vingt heures, 3 à 4 pour cent du poids de l'acide se sont changés en acide carbonique et en oxyde de carbone, les volumes de ces deux gaz sont sensiblement égaux Si l'acide oxalique est dissous dans l'eau ou dans l'alcool, il ne subit aucune décomposition

Le quadroxalate de potasse éprouve également, à 100 degrés, une décomposition extrêmement lente, mais aucun autre oxalate neutre ou acide ne m'a offert, à 100 degrés, d'indice de décomposition, sauf l'oxalate d'argent, lequel fournit de l'acide carbonique pur

2 Divers corps activent, à 100 degrés, la décomposition spontanée de l'acide oxalique on sait combien est efficace à cet égard l'acide sulfurique concentré, l'acide étendu de 10 parties d'eau accélère très notablement la décomposition de l'acide oxalique à 100 degrés; il suffit même d'ajouter à la solution aqueuse d'acide oxalique, saturée à froid, quelques gouttes d'acide sulfurique, et de chauffer la liqueur au bain-marie pour obtenir un peu d'acide carbonique et d'oxyde de carbone Ce phénomène est d'autant plus remarquable que la solution aqueuse concentrée d'acide oxalique est parfaitement stable à 100 degrés, comme je l'ai dit plus haut

## Nouveau Procédé Pour Préparer l'Acide Formique

1 On sait combien sont pénibles les procédés actuellement suivis pour préparer l'acide formique, le plus simple de tous les acides organiques On l'obtient d'ordinaire en traitant le sucre ou l'amidon par un mélange d'acide sulfurique et de bioxyde de manganèse Ce procédé est d'une grande importance historique, car il a permis de préparer l'acide formique sans l'extraire des fourmis, comme on l'avait fait d'abord; mais il n'est pas exempt d'inconvénients. En effet, dans la réaction qui vient d'être rappelée se développe avec boursoufflement une très grande quantité de gaz, d'où résulte la nécessité de vases d'une capacité énorme, dont la rupture ou la corrosion est fréquente. De plus, l'acide obtenu est mélangé avec diverses autres substances, tant acides que neutres, produites simultanément, ce qui oblige à purifier l'acide formique en le changeant en formiate de plomb et faisant cristalliser ce corps à plusieurs reprises[1] Ces difficultés ont été observées par tous les chimistes et se sont sans doute opposées plus d'une fois à la préparation de grandes quantités d'acide formique et à son emploi dans les réactions

2 Voici comment je prépare cet acide avec facilité au moyen de l'acide oxalique et de la glycerine

Dans une cornue de deux litres ou plus, j'introduis 1 kilogramme d'acide oxalique du commerce, 1 kilogramme de glycérine sirupeuse et 100 à 200 grammes d'eau, j'adapte un récipient, et je chauffe très doucement la cornue La température ne doit guère dépasser 100 degrés Bientôt une vive effervescence se déclare, et il se dégage de l'acide carbonique pur Au bout de douze à quinze heures environ, tout l'acide oxalique est décomposé, la moitié de son carbone et de son oxygène s'est dégagé sous forme de gaz acide carbonique; une petite quantité d'eau chargée d'acide formique a distillé, et il reste dans la cornue la glycérine tenant en dissolution presque tout l'acide formique

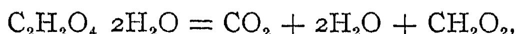
On verse dans la cornue un demi-litre d'eau et on distille, on remplace à mesure l'eau qui distille, et on continue l'opération jusqu'à ce que l'on ait recueilli 6 à 7 litres de liquide. A ce

[1] à plusieurs reprises = repeatedly.

moment presque tout l'acide formique s'est volatilisé avec l'eau, et la glycérine reste seule dans la cornue; elle peut servir à décomposer un second kilogramme d'acide oxalique, puis un troisième, etc.

3 kilogrammes d'acide oxalique du commerce ont fourni, par ce procédé, 1k,05 d'acide formique.

D'après la formule



$$C_2H_2O_4\ 2H_2O = CO_2 + 2H_2O + CH_2O_2,$$

3 kilogrammes d'acide oxalique doivent fournir 1k,09 d'acide formique

La différence entre le résultat obtenu et le résultat calculé est aussi faible que possible, elle s'explique d'ailleurs par les impuretés que renferme l'acide oxalique du commerce. 100 parties de l'acide employé laissent un résidu fixe de 2,7 parties

3 Voici le détail de la préparation qui précède

| | |
|---|---|
| Acide oxalique | 1 kilogramme, |
| Glycérine | 1 kilogramme |

On a opéré comme il vient d'être dit, et obtenu

| | | |
|---|---|---|
| 1° | 2 litres de liquide distillé renfermant acide formique | 146 gr |
| 2° | 5,5 de liquide distillé renfermant acide formique | 176 gr |
| | | 322 gr |

La glycérine retenait encore de l'acide formique On a ajouté dans la cornue un second kilogramme d'acide oxalique, on a obtenu

| | | |
|---|---|---|
| 3° | 1 litre de liquide distillé renfermant acide formique | 70 gr |
| 4° | 4 litres de liquide distillé renfermant acide formique | 250 gr |
| | | 320 gr |

La glycérine retenait encore de l'acide formique On a ajouté dans la cornue un troisième kilogramme d'acide oxalique; on a obtenu

| | | |
|---|---|---|
| 5° | 2 litres de liquide distillé renfermant acide formique . | 180 gr |
| 6° | 4, 5 de liquide distillé renfermant acide formique | 229 gr |
| | | 409 gr |

En résumé, 3 kilogrammes d'acide oxalique ont fourni 1k,051 d'acide formique.

Cette préparation est tellement régulière qu'elle peut être exécutée sans embarras sur des quantités quelconques d'acide oxalique, elle n'exige d'ailleurs presque aucune surveillance.

4 Le seul point essentiel, c'est de ne pas brusquer la décomposition de l'acide oxalique par la glycérine. En effet, si l'on opère trop brusquement, si la température du mélange s'élève à un trop haut degré, le dégagement de l'acide carbonique s'accélère d'abord, mais, dès qu'il a cessé, la température de la masse atteint bientôt 190 à 200 degrés, et un nouveau dégagement gazeux se produit; c'est de l'oxyde de carbone pur. Le liquide distillé pendant toute la durée de l'opération ainsi conduite ne renferme pas le dixième de l'acide formique que l'on peut obtenir en opérant comme je l'ai dit plus haut.

Ce nouveau phénomène, dégagement d'oxyde de carbone, est dû à la décomposition vers 200 degrés, de l'acide formique retenu en dissolution par la glycérine En effet, l'acide formique pur, chauffé entre 200 et 250 degrés pendant quelques heures dans des tubes scellés, se décompose en majeure partie en eau et en oxyde de carbone; la glycérine n'exerce presque aucune influence accélératrice sur cette décomposition

Ces observations peuvent être utilisées dans la préparation de l'oxyde de carbone par l'acide oxalique Si l'on chauffe l'acide oxalique mélangé, non avec l'acide sulfurique, mais avec la glycérine, on obtient successivement et séparément les deux gaz que l'acide sulfurique fournit mélangés à volumes égaux, d'abord l'acide carbonique, puis l'oxyde de carbone Ce dernier corps peut donc être ainsi préparé pur, sans lavages alcalins et du premier coup

5 Quoi qu'il en soit,[1] un intervalle considérable de température sépare ces deux phénomènes successifs: décomposition à 100 degrés de l'acide oxalique en acide carbonique et acide formique au contact de la glycérine, puis décomposition ultérieure à 200 degrés de l'acide formique en eau et oxyde de carbone Rien de plus facile que de maîtriser la réaction et d'obtenir par des additions d'eau graduelles la totalité de l'acide formique que peut

[1] quoi qu'il en soit = however it may be

fournir l'acide oxalique. C'est ce que prouvent les nombres cités plus haut

L'acide formique ainsi préparé est très pur et complètement exempt d'acide oxalique Saturé par les carbonates de chaux, de baryte, de cuivre ou de plomb, il fournit dès la première cristallisation, des formiates purs de chaux, de baryte, de cuivre ou de plomb 500 grammes d'acide oxalique cristallisé ont produit environ 500 grammes de formiate de plomb pur.

On remarquera que la glycérine se retrouve intégralement dans la cornue à la fin de chaque opération, exactement comme l'acide sulfurique dans la préparation de l'éther.

## DES NITRILES DES ACIDES GRAS.

PAR ARM GAUTIER, 1869

*Annales de Chimie et de Physique,* Quatrième Série, Vol 17, p 103

On a jusqu'ici donné le nom de nitriles à une classe de composés azotés, qui diffèrent des sels d'ammoniaque par perte de deux molécules d'eau.

La découverte de ces corps remonte en réalité à[1] celle de l'acide cyanhydrique, véritable nitrile, comme nous le verrons, et par son mode de génération au moyen du formiate d'ammoniaque et par toutes ses propriétés Ce corps, qui paraît avoir été connu dès longtemps, a été en réalité découvert par Scheele, en 1780 Il fut ensuite étudié par Berthollet, qui prouva qu'il ne contient pas d'oxygène, ainsi que par Proust et Itner; mais c'est Gay-Lussac qui, en 1811, l'obtint le premier anhydre, donna sa composition et en fit connaître les propriétés

En 1834, Pelouze, en distillant le cyanure de potassium avec le sulfovinate de potasse, découvrit le cyanure d'éthyle et la méthode qui servit à obtenir ses homologues. Il avait déjà observé, en 1821, que le formiate d'ammonium chauffé à 200 degrés se transforme en eau et acide cyanhydrique, et Fehling, en 1844, sans reconnaître l'importance de son observation, en distillant le benzoate d'ammoniaque obtint le benzonitrile par déshydratation.

[1] remonte à = goes back to

Ces trois derniers faits, restés jusque-là sans liaison, acquirent en 1847, par les travaux de M. Dumas, une importance de premier ordre. Généralisant ses observations sur la distillation de l'oxalate d'ammoniaque, cet illustre chimiste prouva que, par leur déshydration, les sels ammoniacaux donnent naissance à deux classes de corps· les amides, qui en dérivent par perte de 1 molécule (2 équivalents) d'eau, et les nitriles, qui en dérivent par perte de 2 molécules d'eau. Après avoir ainsi défini et généralisé la production de ces deux classes de composés, il démontra avec MM. Malaguttı et F Leblanc, que ces derniers sont identiques avec les éthers cyanhydriques produits par la méthode de Pelouze

Telle est l'origine de la découverte des nitriles ils furent ensuite le sujet de nombreux travaux. MM Dumas, Malaguttı et Leblanc prouvèrent que, par leur hydratation, ils régénèrent les sels ammoniacaux primitifs et qu'ils donnent par l'action de la potasse l'acide gras, supérieur de 1 atome de carbone au nombre des atomes de cet élément existant dans le radical alcoolique qui entre dans leur constitution A la suite, MM Frankland et Kolbe, cherchant à obtenir les radicaux alcooliques à l'état de liberté, découvrirent, en traitant les cyanures alcooliques par le potassium, le premier des polymères de ces corps, la cyanéthine $(C_3H_5Az)_3$, et Cloez trouva la cyanéthine $(C_2H_3Az)_3$ De nombreux chimistes développèrent l'histoire des nitriles Je citerai Frohle, Henke, Hesse, qui décrivirent quelques combinaisons doubles; H Kopp, qui en étudia les propriétés physiques; Balard, Frankland et Kolbe, Brazier et Gouleth, enfin Wurtz, qui s'occupèrent du cyanure d'amyle, Erlenmeyer, du cyanure de propyle, Morkownikoff de celui d'isopropyle; Otto qui chercha les produits de l'action du chlore sur ces corps, Buckton et W. Hofmann, qui les soumirent à l'action de l'acide sulfurique fumant et obtinrent des acides conjugués; Engler, qui les combina au brome, enfin, en 1862, Mendius, qui les transforma en amines par addition de $H_2$

Dans la série de l'allyle, Lieke, en 1859, et ensuite Claus, en 1854, avaient obtenu chacun un cyanure d'allyle différent sans reconnaître l'importance de ce fait.

Nous n'avons pas à parler ici des nitriles aromatiques

De ces nombreux travaux était résulté un ensemble étendu de connaissances,[1] qui avaient laissé subsister cette notion primitive que les nitriles sont les cyanures des radicaux alcooliques, les éthers cyanhydriques, et l'on tâchait de faire plus ou moins rationnellement cadrer[2] les diverses propriétés de ces corps avec cette hypothèse, lorsque je trouvai, en 1865, que l'acide cyanhydrique est apte à former, avec les hydracides, des combinaisons comparables à de véritables sels ammoniacaux, où le groupe triatomique $(CH)'''$ remplacerait les trois atomes d'hydrogène de l'ammoniaque Naturellement amené à vérifier cette conception pour les éthers dits cyanhydriques, j'observai que ces corps se comportent comme le formonitrile, et que leur constitution est toujours celle de l'ammoniaque $AzH_3$, où les trois atomes d'hydrogène sont remplacés par les radicaux homologues $(CH)'''$, $(C_2H_3)''$, $(C_3H_5)'''$, j'exprimai cette constitution par les formules $Az(CH)'''$, $Az(C_2H_3)'''$, $Az(C_3H_5)'''$ En poursuivant ces recherches sur les nitriles connus, voulant me les procurer à l'état de pureté parfaite, j'essayai l'action des iodures alcooliques sur le cyanure d'argent, déjà tentée par E Meyer et par Schlagdenhaufen, et cette réaction m'amena à la découverte des isomères des nitriles connus, les carbylamines, qui forment la seconde partie de ce travail

C'est le résultat de mes recherches, faites en entier[3] au laboratoire de M Wurtz, et déjà partiellement publiées en divers lieux, que je donne ici dans leur ensemble [4]

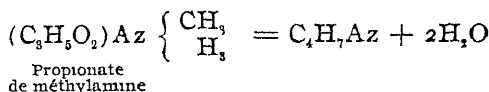
## Classification des Nitriles

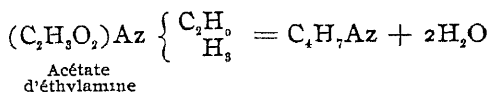
Partant de l'idée de M Dumas, sur la génération des nitriles et la généralisant, remarquons tout d'abord que les nitriles étant des corps qui diffèrent des sels d'ammoniaque ou d'amines, par deux molécules d'eau en moins, il est possible d'obtenir des corps de même composition appartenant à cette classe, mais dérivant

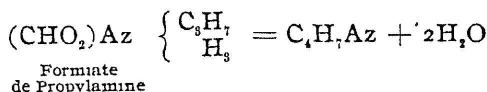
[1] un ensemble étendu de connaissances = large collection of facts
[2] cadrer = to fit in
[3] en entier = entirely.
[4] dans leur ensemble = as a whole

par déshydratation de divers composés. Que l'on se propose, par exemple, d'arriver[1] au nitrile $C_4H_7Az$, on comprendra que l'on puisse, pour l'obtenir, réaliser les quatre équations suivantes :



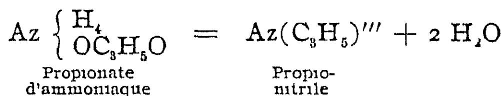


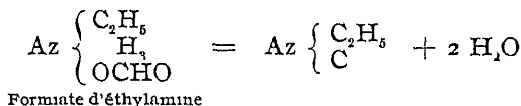




On voit donc qu'on pourra toujours arriver à un nitrile contenant *n* atomes de carbone, par la déshydratation de *n* sels différents, et l'on peut se demander si ces *n* nitriles seront isomères ou identiques.

Quoiqu'on ne puisse répondre complètement encore à cette question, on peut considérer dès aujourd'hui cette isomérie comme extrêmement probable ; en effet, si, prenant du propionate d'ammoniaque et du formiate d'éthylamine, on leur enlève à chacun 2 molécules d'eau, on aura les deux équations suivantes, où nous développons partiellement les formules

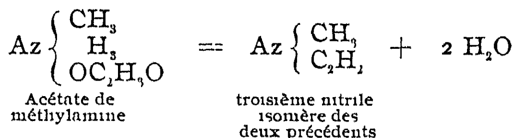




Or l'expérience a prouvé que telle est bien la constitution de ces deux nitriles et qu'ils sont bien isomères ; d'où il semble suivre

[1] Que l'on se propose d'arriver = Suppose one wants to obtain.

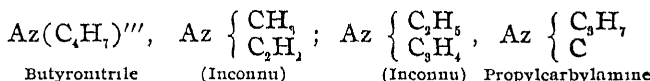
que l'on devra plus tard obtenir un troisième isomère d'après l'équation



$$Az \begin{cases} CH_3 \\ H_3 \\ OC_2H_3O \end{cases} = Az \begin{cases} CH_3 \\ C_2H_2 \end{cases} + 2\,H_2O$$

Acétate de méthylamine — troisième nitrile isomère des deux précédents

On comprend de même que le nitrile $C_4H_7Az$, produit par les quatre moyens indiqués plus haut, doit subir les quatre isoméries:



$$Az(C_4H_7)''', \quad Az \begin{cases} CH_3 \\ C_2H_2 \end{cases}; \quad Az \begin{cases} C_2H_5 \\ C_3H_4 \end{cases}, \quad Az \begin{cases} C_3H_7 \\ C \end{cases}$$

Butyronitrile — (Inconnu) — (Inconnu) — Propylcarbylamine

La première classe, celle des nitriles proprement dits, anciennement connus, où un radical triatomique renfermant tout le carbone est uni à l'azote, et la dernière, celle des carbylamines, où l'azote est saturé séparément par l'atome de carbone et par un radical alcoolique monoatomique, sont celles que nous avons particulièrement étudiées Il n'a été fait qu'un petit nombre d'expériences pour arriver à obtenir les corps où l'azote est saturé, partie par un radical monoatomique, partie par un radical diatomique tel que $C_2H_2$, $C_3H_6$ . elles seront rapportées en leur lieu[1]

Nous diviserons donc naturellement ce travail en deux parties

I Nitriles proprement dits, ou anciens éthers cyanhydriques.

II Carbylamines

Les corps qui composent chacune de ces deux classes se distinguent de ceux de l'autre par un ensemble de propriétés que nous donnerons plus loin

Les nitriles proprement dits sont des corps analogues à l'ammoniaque, doués de fonctions basiques faibles,[2] dérivant des sels ammoniacaux à acides gras par perte de deux molécules d'eau et reproduisant ce sel par leur hydratation.

[1] elles seront rapportées en leur lieu = they will be described in their proper place

[2] doués de fonctions basiques faibles = with weak basic properties.

Les carbylamines appartiennent aussi au type ammoniaque· elles se combinent violemment aux acides et dérivent du formiate d'une amine à radical alcoolique, ou tout au moins[1] sont aptes à reproduire ce formiate, en s'unissant à 2 molécules d'eau

### De l'Acétonitrile

L'acétonitrile préparé par la méthode de Pelouze, c'est-à-dire par la distillation sèche des sulfométhylates alcalins avec le cyanure de potassium, même après l'avoir privé de l'acide cyanhydrique, du formiate d'ammoniaque et de l'alcool méthylique libre qu'il contient, est encore un liquide complexe, sans point d'ébullition constant (70 à 85 degrés), se combinant partiellement à l'acide bromhydrique, etc. Au contraire, l'acétonitrile obtenu par la déshydratation de l'acétamide, convenablement purifié, comme nous l'indiquerons tout à l'heure, bout presque en entier à 82 degrés En présence de l'isomérie des anciens cyanures avec les carbylamines que nous venions de découvrir, il était nécessaire de se demander si les nitriles obtenus par la déshydratation des amides et ceux que l'on obtient par la méthode de Pelouze étaient bien réellement identiques Cette identité, affirmée par MM Dumas, Malaguti et Leblanc, lors de leurs études sur la déshydratation des sels ammoniacaux, confirmée par MM Kolbe et Frankland, avait été depuis mise en question,[2] notamment en Allemagne, et en tout cas[3] pouvait laisser encore quelques doutes, car on n'avait pas eu affaire à des produits parfaitement purs

J'ai donc dû tout d'abord m'enquérir[4] d'une identité qui pouvait laisser subsister encore quelques soupçons, et chercher des méthodes qui me permissent d'obtenir parfaitement purs les corps que je voulais soumettre à d'autres recherches

### Préparation de l'Acétonitrile Pur

*Préparation par la Méthode de Pelouze*—On distille au bain d'huile en élevant graduellement la température jusqu'à 300 de-

[1] ou tout au moins = or at least
[2] avait été depuis mise en question = had since then been questioned
[3] en tout cas = at any rate.
[4] J'ai dû tout d'abord m'enquérir = First of all I had to find

grés, et, par parties de 250 à 300 grammes, un mélange à poids égaux de sulfométhylate de potasse pur avec du cyanure de potassium pur; les deux sels doivent être bien secs. Le produit de la distillation est un liquide miscible à l'eau, jaunâtre, d'odeur alliacée[1] désagréable, mélange complexe d'eau, de cyanure de méthyle, de méthylcarbylamine, de cyanure et de carbonate d'ammonium, de formiate de méthylamine, d'alcool méthylique, d'acide cyanhydrique, de produits sulfurés, etc. On sature d'abord ce liquide alcalin par l'acide sulfurique étendu, qui détruit le cyanure d'ammonium et fixe la carbylamine, puis on l'agite longtemps avec un peu d'eau et d'oxyde rouge de mercure, qui enlève la majeure partie de l'acide cyanhydrique et de l'acide formique On distille et l'on obtient une liqueur d'odeur agréable, que l'on additionne d'une bonne quantité d'une solution un peu concentrée de chlorure de calcium, qui s'unit à la plus grande partie de l'alcool resté libre; on sépare du chlorure de calcium un liquide qui surnage et que l'on rectifie Il est presque en entier composé alors de cyanure de méthyle et d'une petite quantité d'alcool

Ce liquide, presque insoluble dans l'eau, bout de 75 à 83 degrés, mais la majeure partie passe vers 81 degrés, quoique tous les auteurs donnent jusqu'ici 77 degrés comme température d'ébullition du cyanure de méthyle

Le liquide bouillant de 81 degrés à 82°,5 a donné à l'analyse les résultats suivants

| | Expériences | | Théorie |
|---|---|---|---|
| | I | II | Pour $C_2H_3Az$ |
| C | 58,37 | 58,29 | 58,51 |
| H | 7,42 | 7,45 | 7,32 |
| Az | 33,63 | —— | 34,14 |

Ces nombres prouvent que le composé bouillant de 81 degrés à 82°,5 est en majeure partie de l'acétonitrile, mais encore mélangé d'un peu d'alcool méthylique En effet, en analysant le produit qui passe de 77 à 79 degrés, on a trouvé les nombres suivants:

| | |
|---|---|
| C | 58,25 |
| H | 7,40 |
| Az | 33,26 |

[1] d'odeur alliacée = with a garlic odor

qui tendent de plus en plus vers ceux que donnerait le mélange dont nous parlons.

*Préparation de l'Acétonitrile par la Déshydration de l'Acétamide*—Sur 300 grammes d'acide phosphorique anhydre, porté[1] dans un ballon au bain de sable à 280 ou 300 degrés,[1] on fait tomber goutte à goutte, par un tube de sûreté de large diamètre, un poids égal d'acétamide préalablement fondue Le produit distillé est saturé par du carbonate de potasse, lavé à l'eau, séché et soumis à la rectification Il ne passe rien au-dessous de 80 degrés, et la majeure partie bout d'une manière presque constante à 82 degrés (corrigé). Voici les résultats de l'analyse de ce liquide

| | Expériences | | Théorie |
|---|---|---|---|
| | I | II | Pour $C_2H_3Az$ |
| C | 58,66 | 58,62 | 58,54 |
| H | 7,39 | 7,42 | 7,32 |
| Az | 34,37 | —— | 34,14 |

Ces analyses prouvent la pureté absolue du produit, et il ne peut rester de doute que son point d'ébullition, fixé jusqu'ici à 77 degrés, ne doive être porté à 82 degrés

Qu'on l'obtienne[2] donc par l'une ou l'autre de ces deux méthodes, l'acétonitrile a le même point d'ébullition J'ajoute que toutes les réactions auxquelles j'ai soumis les deux corps démontrent qu'ils sont identiques. traités par la potasse, l'un et l'autre donnent l'acétate, par l'acide chlorhydrique gazeux, l'un et l'autre donnent une combinaison difficilement cristallisable, et que l'eau décompose de même, l'un et l'autre donnent un sesquibromhydrate, avec le brome, l'un et l'autre donnent le même bromure.

Cette identité démontrée et la pureté du produit obtenu, les expériences s'établissent sur un terrain solide et connu

*Propriétés*—Les propriétés de l'acétonitrile que j'ai déterminées, ou que j'ai eu à modifier, sont les suivantes:

Liquide incolore, d'odeur agréable, éthérée, rappelant légère-

[1] porté à 300 degrés = heated to 300°

[2] Qu'on l'obtienne = whether one obtains it

ment l'amande amère, et produisant la migraine.[1] Il bout à 82 degrés Il est peu miscible à l'eau, quand il est exempt d'alcool méthylique. Il se solidifie en un corps cristallin blanc opaque dans un mélange d'acide carbonique solide et d'éther. Ces cristaux fondent à —41 degrés.

Densité à + 4 degrés: 0,8018 La densité de la méthylcarbylamine isomère est de 0,7557

Densité de vapeur expérimentale· 1,448, théorique: 1,419 (Méthode de Gay-Lussac à 100 degrés.)

J'ai eu l'occasion de prendre les indices de **réfraction de l'acétonitrile** pur pour les trois raies $\alpha$ (rouge), $\beta$ (verte) et $\gamma$ (violette) de l'hydrogène J'ai trouvé à 19°,5 les nombres suivants:

$$n_\alpha = 1,34267$$
$$n_\beta = 1,34847$$
$$n_\gamma = 1,35202$$

Voici les nombres de l'expérience qui m'ont servi à déterminer ces indices:

$$2\Delta_\alpha = 48^\circ 42'$$
$$2\Delta_\beta = 49^\circ 36'$$
$$2\Delta_\gamma = 50^\circ\ 9'$$
$$A = 60^\circ\ 1'$$

Les lettres $\Delta$ et A expriment.

$\Delta$, l'angle de déviation minimum

A, l'angle du prisme employé

Comme le formonitrile, l'acétonitrile s'unit aux hydracides directement et à la température ambiante,[2] il s'unit aussi aux oxacides organiques pour donner des amides

Jusqu'à un certain point ces combinaisons sont comparables à des sels, mais elles en diffèrent en ce qu'elles ne se prêtent point en général aux doubles décompositions. Comme pour les composés correspondants du formonitrile, on remarquera que la tendance à l'union de l'acétonitrile aux acides va en augmentant de l'acide chlorhydrique à l'acide iodhydrique.

[1] migraine = sick headache
[2] température ambiante = room temperature

## Méthylcarbylamine

*Préparation*.—On chauffe en vase clos pendant quelques heures à 120 degrés un mélange de deux molécules de cyanure d'argent avec 1 molécule d'iodure de méthyle. Le sel double s'étant produit (ce qui se reconnaît à ce que la masse devient compacte, gris-jaunâtre et molle à chaud, sans toutefois acquérir encore la teinte brune, qui est le signe qu'on a chauffé trop longtemps et que le produit s'est altéré, on broie le tout, et on place la poudre dans un matras avec les deux tiers de son poids de cyanure de potassium et le même poids d'eau. Le cyanure alcalin réagit alors sur le sel double ($CAzCH_3$, CAgAz) qui s'était formé, s'unit avec échauffement au cyanure d'argent et met la méthylcarbylamine en liberté, elle vient bientôt surnager; en distillant le tout au bain d'eau salée, on l'obtient presque pure et, quand on a bien opéré, en quantité à peu près théorique (108 grammes au lieu de 116)

Pour la purifier, on la lave à l'eau froide salée, qui en dissout une faible quantité, mais en même temps sépare un peu de méthylamine et quelques produits d'une odeur des plus pénibles, on la dessèche sur la chaux, et on la rectifie; on s'aperçoit alors qu'elle est presque pure, car son point d'ébullition ne varie guère qu'entre 58 et 59 degrés

On peut aussi, pour obtenir le double sel $CAzCH_3$, CAgAz opérer en vase ouvert en faisant réagir l'iodure de méthyle sur le cyanure d'argent placé dans un ballon muni d'un réfrigérant de Liebig, la réaction des deux sels ne commence à 100 degrés qu'au bout d'un certain temps, il faut, dans ce nouveau cas, pour 100 parties de cyanure d'argent, ajouter 68 parties d'iodure de méthyle.

Le liquide bouillant de 58°,5 à 59°,5 a été analysé et a donné les résultats suivants:

| | Expérience | Théorie pour $CAzCH_3$ |
|---|---|---|
| C | 58,32 | 58,51 |
| H | 7,39 | 7,32 |
| Az | 33,85 | 34,14 |

C'est bien la composition qui répond à la formule $C_2H_3Az$.

*Propriétés*—La méthylcarbylamine est un liquide incolore, mobile, qui, porté dans un mélange d'acide carbonique solide et d'éther, se concrète[1] en un corps solide blanc, opaque, dont le point de fusion a été trouvé de —45 degrés, en opérant comme il a été dit pour l'acétonitrile. Quand elle est pure, son odeur est agréable et rappelle bien celle de l'acétonitrile, puis ses vapeurs arrivant à l'arrière-gorge y font ressentir une insupportable amertume,[2] très diluées dans l'air, ces vapeurs rappellent fortement les odeurs phosphorées et l'ozone, peut-être parce qu'elles s'oxydent. Quand le corps est impur, cette odeur est des plus pénibles et des plus envahissantes, elle excite les nausées. Sa saveur amère est des plus désagréables L'eau à laquelle elle surnage la dissout en partie. Il est remarquable que certaines solutions salines, tels que les sels neutres d'ammoniaque et de magnésie, la dissolvent en beaucoup plus grande quantité que l'eau pure Elle se sépare de ces solutions par la chaleur Elle bout à 59°,6 sous la pression de 760 millimètres.

La densité de la méthylcarbylamine à l'état liquide a été trouvée, à 4 degrés, de 0 7557, la densité que j'ai trouvée pour l'acétonitrile isomère est de 0,8018 à la même température

Densité de vapeur expérimentale, 1,444; densité théorique calculée 1,42 pour $C_2H_3Az = 2$ vol

La méthylcarbylamine est parfaitement neutre aux réactifs colorés Elle brûle avec une flamme bleue bordée de vert

*Action de l'Eau*—On a dit que la méthylcarbylamine se dissolvait dans l'eau en petite proportion cette solution peut se conserver assez longtemps sans que la carbylamine s'altère L'action de l'eau est peu sensible à 100 degrés, mais si l'on porte les deux corps à 180 degrés en tube scellé, la couche de carbylamine disparaît peu à peu, et l'ensemble subit une notable contraction. Au bout de huit à dix heures si l'on ouvre les tubes on peut s'assurer qu'il ne s'est formé aucun gaz et que la carbylamine a complètement disparu. Ce liquide a alors été traité par un excès de potasse caustique, on a recueilli dans une solution chlorhydrique les gaz alcalins qui se dégagent quand on chauffe, enfin

[1] se concrète = solidifies.

[2] amertume = bitterness, bitter taste

on a évaporé cette solution Le chlorhydrate ainsi obtenu se dissolvait entièrement dans l'alcool absolu bouillant, et recristallisait par refroidissement en lamelles irrisées[1] Nous avons fait l'analyse des premières portions cristallisées et des dernières et trouvé:

| | Expérience | | Théorie pour |
|---|---|---|---|
| | Premières portions cristallisées | Dernières portions cristallisées | $\left[ Az \left\{ \begin{matrix} CH_3 \\ H_2 \end{matrix} \right. , HCl \right]_2, PtCl_4$ |
| C . .... | ... 4,89 | — | 5,07 |
| H. . | 2,82 | — | 2,53 |
| Pt . . | 41,55 | 41,24 | 41,56 |

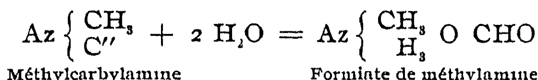
Ce corps était donc en entier du chloroplatinate de méthylamine

Le résidu d'où les bases avaient été chassées par la potasse a été évaporé au bain-marie, après l'avoir saturé exactement par de l'acide sulfurique. On l'a repris[2] alors par de l'alcool à 90 degrés bouillant, qui n'a dissous qu'une faible quantité de sels, mais ce traitement devait séparer l'acétate de potasse, s'il y en existe, de la masse des sels et du formiate qui est peu soluble dans l'alcool Ce liquide alcoolique a été évaporé et le résidu distillé avec un excès d'acide sulfurique, le produit de la distillation a été mis à bouillir avec de l'oxyde de mercure pour détruire le formiate, traité par l'hydrogène sulfuré, soumis à une légère ébullition, filtré et saturé par de l'oxyde d'argent humide Une quantité insignifiante s'en est dissoute, et on a pu s'assurer qu'il ne se formait pas d'acétate d'argent, et par conséquent que, par son hydratation, la méthylcarbylamine ne donnait pas d'acide acétique comme le fait son isomère l'acétonitrile. En reprenant la partie du sel de potasse primitif, insoluble dans l'alcool, j'ai constaté qu'il n'y existait que du formiate et du sulfate de potasse Nous avons décrit cette expérience avec quelques détails, car elle est fondamentale, non seulement pour démontrer l'isomérie de la méthylcarbylamine et, comme on le verra, des autres carbylamines, avec les nitriles proprement dits correspondants, mais aussi pour faire voir que ni la chaleur ni l'eau ne paraissent leur faire subir, au moins dans ces conditions, de changements isomériques.

[1] irrisée = radiating

[2] on l'a repris = it was taken up

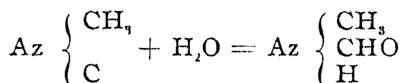
La réaction de l'eau se passe donc très nettement d'après l'équation suivante:



$$Az \left\{ \begin{matrix} CH_3 \\ C'' \end{matrix} \right. + 2\,H_2O = Az \left\{ \begin{matrix} CH_3 \\ H_3 \end{matrix} \right. O\ CHO$$

Méthylcarbylamine — Formiate de méthylamine

Toutefois, soit que l'on agisse avec l'eau seule, soit qu'on additionne cette eau d'un peu d'acide chlorhydrique, la réaction précédente est toujours précédée d'une première phase, que l'on peut rendre évidente en n'attendant pas que la totalité de la carbylamine ait disparu, on verra plus loin que, dans l'action de la potasse sur les chlorhydrates des carbylamines, une hydratation incomplète devient la réaction principale La méthylcarbylamine ne passe, en effet, à l'état de formiate de méthylamine qu'en se transformant d'abord en méthylformiamide, suivant l'équation



$$Az \left\{ \begin{matrix} CH_3 \\ C \end{matrix} \right. + H_2O = Az \left\{ \begin{matrix} CH_3 \\ CHO \\ H \end{matrix} \right.$$

C'est pourquoi on doit, pour obtenir une entière hydratation de la méthylcarbylamine, la faire bouillir pendant une heure avec l'eau acidulée

*Action des Alcalis Aqueux*—La potasse aqueuse n'agit sur la méthylcarbylamine que difficilement, même à 100 et 120 degrés Il faut chauffer le mélange de ces corps à 180 degrés, et pendant le même temps qu'avec l'eau pure, pour obtenir l'hydratation l'alcali ne semble donc pas la hâter On voit combien son action est différente dans ce cas et dans celui de l'acétonitrile En refroidissant le tube, on peut recueillir la base formée et en faire le chlorhydrate, c'est bien le chlorhydrate de méthylamine d'après toutes ses propriétés et le dosage de platine de son chloroplatinate:

| | Expérience | | Théorie |
|---|---|---|---|
| Pt . .. | 41,50 pour cent | Pt | 41,56 pour cent |

Il ne se forme qu'une trace d'ammoniaque dans cette réaction, preuve bien évidente qu'il ne se produit pas, ou qu'une trace d'acide acétique. On a repris, en effet, le résidu d'où la méthylamine avait été chassée; on l'a évaporé, additionné d'acide phos-

phorique aqueux et distillé. Le résultat de cette distillation a été laissé sur une bonne quantité d'acide phosphorique vitreux; une couche moins dense s'est produite à la surface, on l'a séparée et distillée; elle bouillait entièrement à 100 degrés; c'était de l'acide formique monohydraté, comme on s'en est assuré par toutes ses propriétés. Par un très long temps de contact, les alcalis aqueux hydratent la méthylcarbylamine comme ils le font à 180 degrés. On n'a pas pu unir l'ammoniaque à la méthylcarbylamine en chauffant ces deux corps à 100 et 140 degrés

*Action de l'Eau en Présence des Acides*—Les acides aqueux agissent comme l'eau, mais bien plus rapidement Une couche de carbylamine placée dans un tube à la surface de l'eau, au fond de laquelle on fait arriver une petite quantité d'une solution d'acide chlorhydrique, disparaît subitement avec une vive émission de chaleur dès qu'on vient à agiter le tube Toutefois, lorsqu'on n'a ajouté qu'une faible quantité d'acide, la réaction n'est pas si vive et si complète qu'on ne puisse retrouver dans le liquide une partie sirupeuse, bouillant vers 190 degrés, et qui n'est autre que la méthylformiamide En faisant bouillir le mélange et le traitant comme il est dit pour l'eau pure, on peut s'assurer que la réaction est identique

*Action des Acides Minéraux*—Les hydracides, comme les oxacides minéraux, s'unissent avec une telle violence à la méthylcarbylamine, qu'il est presque impossible de modérer la réaction et qu'une partie du composé s'altère. Il faut, pour obtenir un produit plus satisfaisant, dissoudre la méthylcarbylamine dans l'éther anhydre et faire tomber dans sa solution une solution éthérée de l'acide ou l'acide lui-même avec la plus grande précaution. Les sels ainsi formés sont tantôt cristallisés, si l'on a réussi à modérer la réaction, tantôt liquides et sirupeux, mais cristallisables plus tard, s'il y a eu une trop grande élévation de température Tous ces sels sont décomposables par l'eau et l'alcool, et très peu solubles dans l'éther, d'où ils se précipitent à l'état cristallisé ou huileux

On n'a spécialement étudié que le chlorhydrate de méthylcarbylamine.

*Action des Acides Organiques.*—Les acides organiques agissent sur les carbylamines d'une manière tout à fait imprévue. Chose remarquable,[1] la carbylamine enlève, à une température inférieure à 100 degrés, 1 molécule d'eau aux acides les plus stables pour donner de l'acide anhydre et de l'éthyl . . ., méthylformiamide. Quoiqu'on n'ait examiné avec soin que l'action de l'acide acétique sur les deux premières carbylamines, il est très probable qu'un grand nombre d'autres acides seraient décomposés de même, car l'acide acétique est doué pour sa part d'une stabilité remarquable, et l'on sait que l'acide phosphorique lui-même ne suffit pas à lui enlever 1 molécule d'eau sans altérer son radical.

## SUR LES COMBINAISONS ORGANOMAGNÉSIENNES MIXTES ET LEUR APPLICATION A DES SYNTHÈSES D'ACIDES, D'ALCOOLS ET D'HYDROCARBURES

PAR M V GRIGNARD

(*Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy*)

*Annales de Chimie et de Physique*, Septième Série, Vol 24, p 433

De toutes les combinaisons organométalliques actuellement connues, les seules qui aient pu servir jusqu'ici de bases[2] à des méthodes de synthèse sont celles du sodium, du mercure et surtout celles du zinc Encore les deux premiers groupes n'ont-ils pu être utilisés que dans un petit nombre de cas et sans conduire à des méthodes susceptibles d'une grande généralisation Il n'en est plus de même pour les combinaisons organozinciques qui, depuis les belles recherches de Frankland, ont constitué pendant près d'un demi siècle, entre les mains des chimistes, un merveilleux instrument de synthèse. Il suffit, pour en témoigner,[3] de rappeler les noms de Wurtz, de Frankland et Duppa, de Freund, de Boutlerow, de Reformatsky, de Wagner et de Saytzeff qui, dans cet ordre d'idées, sont restés attachés à des méthodes classiques.

[1] chose remarquable = strange to say.

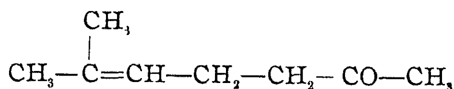
[2] les seules qui aient pu servir de bases = the only ones which it has been possible to use as a basis.

[3] pour en témoigner = to prove it.

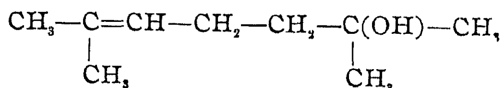
Mais quelle que soit[1] l'importance des résultats acquis, ces méthodes ne laissent pas cependant de donner prise[2] à des critiques assez sérieuses. On peut dire, en effet, d'une façon générale, que, lorsqu'on peut éviter la préparation préalable des composés organozinciques, les rendements sont médiocres, sinon dérisoires (exception faite toutefois pour l'application de la méthode de Saytzeff avec l'iodure ou le bromure d'allyle) ; dans les autres cas où cette préparation est nécessaire, elle entraîne,[3] comme on sait, une manipulation assez longue, difficile et même dangereuse, en raison de la facilité avec laquelle s'enflamment les composés organozinciques

Aussi était-il du plus grand intérêt de remplacer ces composés par d'autres, faciles à préparer directement, plus maniables et présentant des aptitudes réactionnelles au moins égales Mais les nombreuses recherches entreprises sur les combinaisons organiques des différents métaux n'avaient fourni aucune indication dans ce sens, et le zinc semblait devoir rester sans partage le métal par excellence des synthèses au moyen de combinaisons organo-métalliques

En 1898, M Ph Barbier, employant la méthode de Saytzeff, fit réagir sur la méthylhepténone naturelle



l'iodure de méthyle en présence du magnésium Il obtint un alcool tertiaire, le diméthyl-2-6 heptène-2 ol-6



d'après le processus habituel de la méthode employée. Seulement, il y avait là un fait nouveau En effet, d'une part, les combinaisons organozinciques, en réagissant sur les cétones, ne donnent pas d'alcools tertiaires, et d'autre part, la méthode de Saytzeff ne s'applique pas aux cétones en -CO-$CH_3$, qui se condensent

[1] quelle que soit = whatever may be

[2] ne laissent pas de donner prise à = are still the object of

[3] elle entraîne = it necessitates

généralement avec perte d'eau; il n'y a qu'une seule exception, c'est lorsque l'éther halogéné introduit en réaction est le bromure ou l'iodure d'allyle

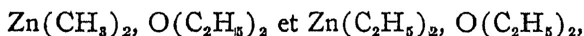
Il était donc particulièrement intéressant de rechercher dans quelle mesure cette réaction pouvait être généralisée; d'étudier, en un mot, quels avantages pouvaient présenter la substitution du magnésium au zinc, et, sur les conseils de mon maître, j'entrepris ce travail

Je reconnus bientôt que le magnésium présentait une facilité de réaction supérieure à celle du zinc qui permettait de l'employer dans beaucoup de cas où le zinc ne réagissait pas, mais qui, par contre,[1] rendait la réaction souvent difficile à régler et déterminait presque toujours la production abondante de produits de polymérisation

Je songeai alors à revenir à la méthode de Wagner, c'est-à-dire à préparer isolément les combinaisons organomagnésiennes Les faits déjà connus sur ce sujet n'étaient pourtant guère encourageants

Les études les plus récentes sur les composés organométalliques du magnésium sont celles de Lohr, de Fleck et de Waga. Elles ont montré que ces composés sont des corps solides, extrêmement altérables, réagissant avec incandescence sur l'eau et sur l'alcool, s'enflammant dans l'air et même dans le gaz carbonique secs, et insolubles dans les dissolvants neutres, sauf dans un mélange anhydre d'éther et de benzene Mais dans ce véhicule, ils se prêtaient très mal aux réactions et ne paraissaient nullement capables de remplacer les combinaisons zinciques, d'ailleurs on ne pouvait les obtenir convenablement qu'en chauffant en tube scellé les iodures alcooliques avec l'amalgame de magnésium, ce qui limitait encore singulièrement leur emploi

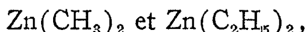
Mais autrefois, Frankland et Wanklyn avaient essayé, pour la préparation des composés organozinciques, une méthode particulière qui consiste à chauffer en vase clos le zinc et l'iodure alcoolique en présence d'éther anhydre. Ils obtinrent en solution dans l'éther les composés



$$Zn(CH_3)_2, O(C_2H_5)_2 \text{ et } Zn(C_2H_5)_2, O(C_2H_5)_2,$$

[1] **par contre = on the other hand.**

qui présentent très sensiblement les propriétés habituelles de



$$Zn(CH_3)_2 \text{ et } Zn(C_2H_5)_2,$$

mais malheureusement cette réaction était incomplète et il restait une masse solide abondante qu'il fallait distiller[1], comme dans les procédés ordinaires, pour achever la séparation du corps organo-métallique

Avec un métal tel que le magnésium, plus électropositif que le zinc et d'affinités plus vives, on pouvait s'attendre à ce que la réaction précédente se fît[2] plus aisément et plus complètement C'est, en effet, ce qu'a montré l'expérience, puisque j'ai constaté qu'en présence d'éther anhydre le magnésium attaque l'iodure de méthyle à la température ordinaire et que cette réaction, qui est totale, conduit uniquement à un produit soluble dans l'éther

J'ai été ainsi amené à préparer un certain nombre de nouvelles combinaisons organomagnésiennes que le présent Mémoire a pour but de faire connaître, ainsi que quelques-unes de leurs applications

## Combinaisons Organomagnésiennes Mixtes

*Préparation*—Supposons, par exemple, que nous voulions faire réagir l'iodure de méthyle sur le magnésium L'appareil, très simple, se compose d'un ballon d'environ 1 litre de capacité, surmonté d'un bouchon percé de deux trous qui portent, le premier un tube à brome, et le second, un tube permettant de le relier à un bon réfrigérant ascendant

Tout le système étant bien sec, on met dans le ballon un atome (24 gr ) de magnésium en tournure et on l'adapte au reste de l'appareil. (La tournure de magnésium que j'emploie de préférence a 3 mm de largeur et 0, mm 6 d'épaisseur Tourné sous ces dimensions, le métal ne donne pas un ruban, mais se déchire sous l'outil en copeaux très déchiquetés et présentant par suite une grande surface. D'autre part, on a fait un mélange à volumes égaux d'une molécule de l'éther parfaitement anhydre et d'iodure

[1] qu'il fallait distiller = which had to be distilled
[2] s'attendre à ce que la réaction se fît = expect the reaction to take place.

de méthyle, on en fait tomber au moyen du tube à brome 40 à 50 cc sur le magnésium. Presque immédiatement on voit apparaître en différents points, autour du magnésium, un louche brunâtre (blanc dans le cas des éthers bromhydriques) accompagné d'une très faible effervescence. Puis la réaction s'étend rapidement, des flocons blancs apparaissent et tout le liquide entre en vive ébullition On fait alors tomber en deux ou trois fois 250 à 300 gr d'éther anhydre et l'on refroidit en même temps le ballon, s'il y a lieu,[1] par un courant d'eau froide. L'ébullition se calme, les flocons blancs augmentent encore pendant un instant, puis disparaissent presque instantanément, la liqueur redevient parfaitement limpide et la réaction reprend avec une énergie nouvelle Il n'y a plus qu'à l'entretenir en faisant tomber goutte à goutte le reste du mélange réactionnel, dans ces conditions, la dissolution du magnésium se poursuit régulièrement et il en disparaît très exactement un atome par molécule d'iodure de méthyle introduite Pour parachever la réaction, il suffit de chauffer pendant une demi-heure au bainmarie et il ne reste plus alors dans le ballon qu'une solution très fluide et à peu près incolore tenant en suspension une poussière noire très tenue constituée par une trace de fer qui existe comme seule impureté dans le magnésium employé

J'ai constaté que la même réaction se produisait, et dans les mêmes conditions sensiblement que pour l'iodure de méthyle, avec les iodures d'isopropyle, de butyle tertiaire et d'hexyle secondaire, avec les bromures d'éthyle, de propyle, d'isobutyle, d'isoamyle et de benzyle, et il est vraisemblable qu'elle doit avoir lieu[2] avec beaucoup d'autres éthers halogénés des alcools Bien plus, j'ai reconnu qu'on obtenait encore les mêmes résultats avec le bromobenzène et le bromonaphtalène, ce qui semble indiquer que les éthers halogénés des phénols peuvent, d'une façon générale aussi, entrer en combinaison avec le magnésium J'étudie actuellement cette nouvelle série de composés en collaboration avec M Tissier, je ne m'occuperai ici que des premiers

[1] s'il y a lieu = if necessary

[2] il est vraisemblable qu'elle doit avoir lieu = it is probable that it must take place

La solution éthérée obtenue comme il vient d'être dit[1] s'altère à l'air humide et réagit violemment sur l'eau avec formation de magnésie; le gaz carbonique sec l'attaque en donnant un précipité cristallin; enfin elle réagit énergiquement sur les aldéhydes, les cétones, les éthers-sels, les chlorures et les anhydrides d'acides, etc Comme la vapeur d'éther la protège suffisamment contre le retour de l'air extérieur, il est inutile d'opérer dans un gaz inerte, et l'on peut la soumettre telle quelle,[2] sans modifier l'appareil producteur, aux différentes réactions effectuées jusqu'à présent avec les composés organozinciques.

Mais avant d'entrer dans le détail des applications des combinaisons organomagnésiennes, une question se pose tout d'abord c'est l'étude des propriétés les plus immédiates de ces nouveaux composés et la recherche de leur constitution

Voyons donc en premier lieu quelles sont les formules qui permettent d'expliquer la réaction précédente entre un atome de magnésium et une molécule d'éther halogéné Il y en a deux.

I $CH_3I + Mg = CH_3MgI$

II. .. . . .$2CH_3I + 2Mg = (CH_3)_2Mg,MgI_2$.

Il est évident, en effet, que dans la seconde réaction nous ne pouvons avoir $(CH_3)_2Mg + MgI_2$; les recherches de Lohr et de Fleck ont montré que le magnésium méthyle était un corps solide insoluble ou très peu soluble dans l'éther, d'autre part, l'iodure de magnésium est lui-même extrêmement peu soluble dans l'éther anhydre (j'ai trouvé 0,198 pour 100 à 17°); nous aurions pour chacune de ces raisons un précipité

Nous nous trouvons donc en présence de deux formules comme dans le cas des combinaisons organozinciques. la formule de Frankland et celle de Gladstone et Tribe.

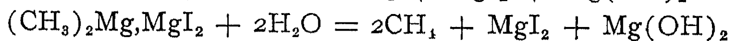
Quelle que soit celle que nous adoptions, il est un fait certain, c'est qu'elles conduisent toutes deux à cette conséquence que par l'action de l'eau nous devons recueillir une molécule d'hydro-

[1] comme il vient d'être dit = as it has just been described

[2] telle quelle = as such

carbure saturé (de méthane dans le cas considéré) par molécule d'éther halogéné employé·


$$2CH_3MgI + 2H_2O = 2CH_4 + MgI_2 + Mg(OH)_2$$


$$(CH_3)_2Mg,MgI_2 + 2H_2O = 2CH_4 + MgI_2 + Mg(OH)_2$$

Il était utile de faire au préalable cette constatation.

*Action de l'Eau*—Pour étudier l'action de l'eau, j'ai fait réagir, sur 2 gr. de tournure de magnésium, l'iodure de méthyle, en léger excès, de façon que la dissolution soit absolument complète J'ai opéré dans l'appareil précédemment décrit et, lorsque la réaction a été terminée, j'ai chassé, aussi bien que possible, l'air qui pouvait rester en distillant rapidement une certaine quantité de l'éther employé, sans refroidir le réfrigérant

D'autre part j'avais disposé à la suite l'un de l'autre deux flacons, le premier vide, le second constituant un barboteur à acide sulfurique adapté par son tube de dégagement au recepteur à potasse d'un appareil à dosage d'azote Dans le système ainsi constitué, j'ai fait passer un courant de gaz carbonique jusqu'à disparition complète de l'air, puis j'ai mis le flacon vide en communication avec l'extrémité libre du réfrigérant qui terminait le ballon contenant le composé organométallique

Mon appareil se trouvait alors constitué de la manière suivante 1° le ballon où s'était effectuée la réaction, 2° un réfrigérant ascendant, 3° un flacon vide refroidi jouant le rôle de flacon de sureté et de condenseur pour l'éther entraîné, 4° un flacon laveur à acide sulfurique chargé d'arrêter[1] les dernières portions d'éther; 5° le récepteur à potasse Ce dernier appareil, grâce à son dispositif bien connu, me permettait de faire varier avec la plus grande facilité la pression dans tout l'ensemble et par suite d'introduire très aisément de l'eau sur le composé organométallique et de recueillir les gaz dégagés

J'ai donc fait tomber de l'eau, peu à peu, au moyen du tube à brome, et, lorsque la décomposition a été terminée, j'ai balayé tout l'appareil par un courant de gaz carbonique

J'ai recueilli ainsi 1690 cc de gaz, la théorie exigeant environ 1850cc, soit 91 pour 100. C'est du méthane sensiblement pur

[1] chargé d'arrêter = for the purpose of stopping

En effet, l'absorption par l'alcool amylique, faite d'après les indications de Friedel et Gorgeu donne un coefficient voisin de ½ (0,45), et il reste un résidu non absorbable de 2,5 pour 100

L'analyse eudiométrique du gaz régénéré de la solution amylique a donné les résultats suivants; volume du gaz, 2,22; oxygène 9,60; après explosion, 7,69; après potasse, 5,66, d'où· vol. disparu $V = 4{,}13$, $CO_2 = 2{,}03$, $H_2O = 3{,}82$, ce qui conduit à la formule $C_{1,015}\ H_{3,82}$, ou sensiblement $CH_4$

On a en outre

$$\frac{V}{CO_2} = 2{,}03 \qquad \frac{V}{H_2O} = 1{,}08 \qquad \frac{V}{\text{gaz}} = 1{,}86$$

Calculé pour $CH_4$ 2,00 1,00 2,00

De même l'éthylbromure de magnésium donne de l'éthane pur. L'action de l'eau se passe donc bien conformément aux prévisions théoriques

*Constitution des Combinaisons Organomagnésiennes*—Nous avons déjà vu que les combinaisons organomagnésiennes se forment sans aucun précipité dans l'éther, qu'à l'état libre elles ne s'enflamment pas à l'air, et qu'elles réagissent sur l'eau et même sur les acides sans incandescence, ce qui permet de douter de la présence du groupement $Mg(CH_3)_2$ ou $Mg(C_2H_5)_2$.

L'analyse ne peut fournir aucune indication, puisqu'elle cadre évidemment avec l'une et l'autre formules Il faudrait pouvoir la compléter par la détermination du poids moléculaire, car la seconde formule représente une molécule double de la première Je n'ai pu m'occuper encore de ce point particulier, mais je me propose d'essayer la méthode ébullioscopique en préparant la combinaison organométallique dans l'éther ordinaire ou dans un autre éther oxyde dont j'aurai préalablement déterminé la constante ébullioscopique

A défaut d'expériences positives, je me suis appuyé sur diverses considérations théoriques déduites des circonstances de formation et du mode de réaction sur différentes fonctions, en particulier sur les aldéhydes et les cétones

Je viens de rappeler les circonstances de formation; étudions maintenant l'action d'une aldéhyde, par exemple, sur le méthyl-

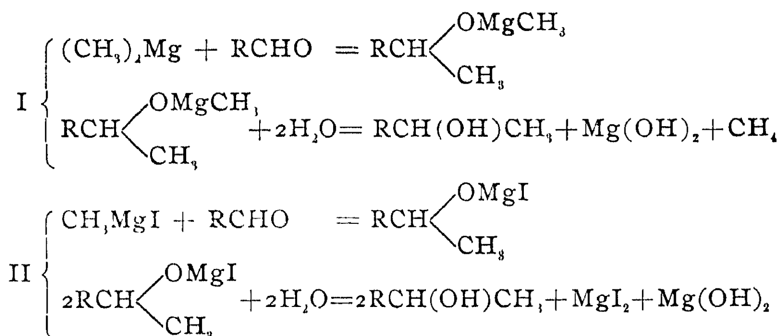
iodure de magnésium Si, dans la combinaison éthérée obtenue par l'action d'une molécule d'iodure de méthyle sur un atome de magnésium, on fait tomber peu à peu une molécule d'une aldéhyde, on formera une combinaison qui, traitée par l'eau, fournira 0,6 mol à 0,8 mol. de l'alcool secondaire cherché

Si la molécule du composé organomagnésien est



$$(CH_3)_2Mg, MgI_2,$$

il est évident, d'après ce que l'on sait déjà sur les composés organométalliques, que la partie active sera simplement $(CH_3)_2Mg$, et par suite, pour exprimer les résultats précédents dans les deux hypothèses que nous discutons, nous aurons les deux systèmes d'équations suivants



$$\text{I}\begin{cases}(CH_3)_2Mg + RCHO = RCH\begin{matrix}\diagup OMgCH_3\\ \diagdown CH_3\end{matrix}\\ RCH\begin{matrix}\diagup OMgCH_3\\ \diagdown CH_3\end{matrix} + 2H_2O = RCH(OH)CH_3 + Mg(OH)_2 + CH_4\end{cases}$$

$$\text{II}\begin{cases}CH_3MgI + RCHO = RCH\begin{matrix}\diagup OMgI\\ \diagdown CH_3\end{matrix}\\ 2RCH\begin{matrix}\diagup OMgI\\ \diagdown CH_3\end{matrix} + 2H_2O = 2RCH(OH)CH_3 + MgI_2 + Mg(OH)_2\end{cases}$$

La simple inspection de ces formules montre que

1° Dans le premier cas seulement, le traitement par l'eau doit provoquer un dégagement gazeux

2° Dans le deuxième cas, la combinaison qui prend naissance[1] contient tout l'élément halogène introduit, dans le premier cas au contraire, elle n'en contient pas trace, car il paraît très vraisemblable d'admettre que, si le groupement $MgI_2$ préexistait dans la combinaison organomagnésienne, il se déposerait au moment de la copulation avec l'aldéhyde ou la cétone

3° Le rendement théorique est, avec la première formule, de 0,5 mol par molécule d'éther halogéné employée, tandis que, avec la deuxième formule, ce rendement est de 1 mol

[1] prend naissance = is formed, is generated

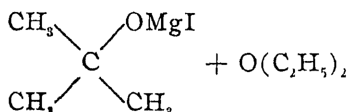
Or, voici les faits observés:

1° En traitant par l'eau les combinaisons obtenues avec les aldéhydes ou les cétones, il ne se dégage jamais aucun gaz.

2° Certaines de ces combinaisons sont entièrement solubles dans l'éther; il n'y a donc pas d'iodure de magnésium libre D'autres, au contraire, sont parfaitement cristallisées et l'on n'y voit qu'un seul système de cristaux; il ne paraît donc pas y avoir d'iodure de magnésium de déposé en même temps J'ai d'ailleurs choisi, parmi ces combinaisons, celle qui paraissait le mieux cristallisée, obtenue par l'action de l'acétone sur le méthyliodure de magnésium et je l'ai analysée après un séjour de vingt-quatre heures dans le vide sec; voici les résultats obtenus matière. 1,9014; $P_2O_7Mg_2$ 0,7431, matière 0,5185, AgI 0,4258 D'où

| | Trouvé | Calculé pour $C_4H_9$ OMgI + 62 gr $O(C_2H_5)_2$ |
|---|---|---|
| Mg | 8,45 | 8,39 |
| I | 44,38 | 44,41 |

Cette combinaison doit donc cristalliser avec une molécule d'éther et répondre à la formule




3° Enfin les excellents rendements obtenus, qui varient généralement de 0,6 mol. à 0,8 mol d'alcool par molécule d'éther halogéné et dépassent même assez souvent cette dernière valeur, ne laissent aucun doute que la seconde hypothèse est seule acceptable

Il est presque inutile d'ajouter que toutes les autres réactions des combinaisons organomagnésiennes avec les éthers-sels, les chlorures d'acides, les anhydrides d'acides, etc, sont parfaitement d'accord avec cette manière de voir [1]

En résumé, les combinaisons organomagnésiennes préparées dans l'éther anhydre présentent les propriétés suivantes

1° Elles sont solides et non spontanément inflammables à l'air;

2° Elles se forment sans mise en liberté[2] d'iodure ou de bromure de magnésium.

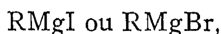
[1] manière de voir = point of view

[2] mise en liberté = setting free, liberating

3° Leur copulation avec les aldéhydes ou les cétones ne provoque pas non plus le dépôt de ces mêmes sels; la combinaison formée renferme tout l'halogène introduit et elle se décompose par l'action de l'eau, en donnant un alcool secondaire ou tertiaire sans dégagement d'aucun gaz.

4° Le rendement de ces opérations par rapport à l'éther halogéné employé est supérieur à 50 pour 100.

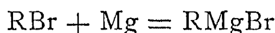
Toutes ces raisons concourent à faire adopter pour ces combinaisons la formule générale



$$RMgI \text{ ou } RMgBr,$$

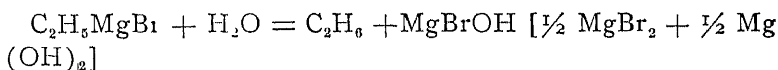
dans laquelle R représente un résidu alcoolique saturé, gras ou aromatique, ou même un résidu phénolique, comme cela résulte de mes récentes recherches en collaboration avec M. Tissier.

*Réactions Secondaires dans la Préparation des Combinaisons Organomagnésiennes.*—J'ai admis jusqu'à présent que la réaction entre les éthers halogénés saturés et le magnésium se passait intégralement d'après l'équation



$$RBr + Mg = RMgBr$$

En pratique il n'en est pas tout à fait ainsi.[1] Une première réaction secondaire, qui se présente dans tous les cas, est due à une trace d'humidité inévitable qui, au début de l'opération, produit le louche et les flocons de magnésie qu'on observe. Ainsi dans une opération sur 1 mol. de bromure d'éthyle, j'ai pu recueillir jusqu'à 100 cc. d'éthane engendré par la réaction suivante



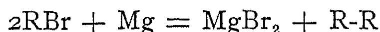
$$C_2H_5MgBr + H_2O = C_2H_6 + MgBrOH \; [\tfrac{1}{2} MgBr_2 + \tfrac{1}{2} Mg(OH)_2]$$

C'est là, comme on le voit, une cause d'erreur absolument négligeable qui n'atteint pas même 0,5 pour 100.

Une autre réaction secondaire beaucoup plus importante et que j'ai déjà signalée au début de mes recherches, à propos du benzylbromure de magnésium, résulte de ce fait que le magnésium possède une certaine tendance à jouer le même rôle que le sodium dans la réaction de Wurtz en s'emparant de l'élément halogéné et

[1] il n'en est pas tout à fait ainsi = it is not quite so.

permettant par suite la soudure de deux résidus hydrocarbonés en présence :



$$2RBr + Mg = MgBr_2 + R\text{-}R$$

Cette réaction est absolument inappréciable avec les premiers termes, mais son importance augmente rapidement avec la condensation en carbone.

Avec le bromure d'isobutyle, on obtient un peu de diisobutyle mais généralement en quantité trop faible pour pouvoir l'isoler à l'état de pureté. Avec le bromure d'isoamyle, on peut recueillir de 10 à 15 pour 100 de diisoamyle, avec le bromure de benzyle la proportion de dibenzyle s'élève à 30 ou 35 pour 100 et avec l'iodure d'hexyle secondaire elle atteint jusqu'à 50 pour 100 en dihexyle.

En comparant la réaction précédente à la réaction normale écrite un peu plus haut, on voit que celle-ci exige 1 at. de magnésium par molécule d'éther halogéné, tandis que celle-là n'utilise que 0,5 at. Je me suis demandé, en conséquence, si, en employant de la tournure de magnésium beaucoup plus fine, présentant, par suite, une surface attaquable plus grande, on n'arriverait pas à diminuer la réaction secondaire au profit de la principale. L'expérience, faite sur le bromure de benzyle, a confirmé mes prévisions, mais dans une assez faible mesure.

Quant à employer de la poudre de magnésium, on n'y peut guère songer,[1] car elle est toujours plus ou moins oxydée.

Enfin, un dernier point à signaler sur ce sujet, c'est que la réaction normale se fait moins bien, à condensation en carbone égale, avec les éthers halogénés secondaires qu'avec les primaires et encore moins surtout avec les éthers halogénés tertiaires.

Je n'ai étudié, il est vrai, dans cette dernière catégorie, que l'iodure de butyle tertiaire. Pendant toute la réaction, il se dégage un gaz qui fixe le brome et est absorbé par l'acide sulfurique ; c'est certainement de l'isobutylène. Il reste en outre tout près de la moitié du magnésium introduit. Ceci explique pourquoi je n'ai pas obtenu de résultats appréciables avec cette combinaison.

Mais si l'on considère la facilité avec laquelle l'iodure de butyle

[1] on n'y peut guère songer = it is hardly to be thought of

tertiaire se décompose, sous l'influence des alcalis ou de certains métaux comme le sodium et le zinc, en acide iodhydrique et isobutylène, on comprendra qu'il serait prématuré de généraliser.

## Action du Gaz Carbonique sur les Combinaisons Organomagnésiennes Mixtes

*Nouvelle Méthode de Synthèse D'acides Organiques Monobasiques*—Lohr, Fleck et Waga ont constaté que les combinaisons organomagnésiennes symétriques s'enflammaient dans le gaz carbonique J'ai reconnu, à mon tour, que ce gaz réagissait également sur les combinaisons organomagnésiennes mixtes, mais d'une façon modérée, ce qui m'a permis d'étudier la réaction

Si l'on fait passer un courant de gaz carbonique dans une solution éthérée de méthyliodure de magnésium, on constate qu'il se forme immédiatement un dépôt cristallin qui ne tarde pas à empâter tout le liquide[1] Cette réaction terminée, si l'on traite par la glace pilée, puis qu'on acidifie nettement par l'acide sulfurique, l'extraction à l'éther permet d'isoler facilement de l'acide acétique que j'ai caractérisé par ses propriétés acides, son odeur, son point d'ébullition et sa transformation en éther acétique

J'ai constaté de même la formation d'acide isovalérianique au départ de[2] l'isobutylbromure de magnésium La réaction paraissait donc générale, je l'ai alors étudiée quantitativement sur un terme encore plus élevé, sur l'isoamylbromure de magnésium

J'ai préparé à la manière habituelle 0,5 mol de ce composé, puis j'ai fait barboter dans la solution éthérée un courant de gaz carbonique sec, amené par un tube assez large Il se forme peu à peu un dépôt cristallin qui obstrue partiellement le tube à dégagement, puis il se sépare une couche grise, peu visqueuse dans laquelle se dépose une faible quantité de cristaux Au bout de cinq heures, il ne paraît plus se produire aucune modification

J'ai alors décomposé sur la glace; il ne précipite qu'une quantité relativement faible de magnésie qu'on dissout en ajoutant

[1] qui ne tarde pas à empâter tout le liquide = which soon changes the whole liquid into a paste

[2] au départ de = starting with

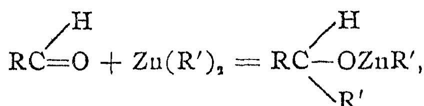
goutte à goutte de l'acide sulfurique à 25 pour 100, de façon que la liqueur reste plutôt légèrement alcaline

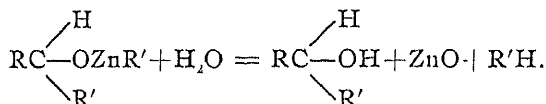
On décante la couche éthérée, on la lave avec un peu d'eau pure et l'on distille l'éther, il reste un résidu de 5 gr qui passe à peu près intégralement à 155°-160° et n'attaque pas sensiblement le sodium, c'est du diisoamyle

La portion aqueuse, séparée tout à l'heure, est acidifiée par 100 à 120 gr d'acide sulfurique à 25 pour 100 (un peu plus de ¼ de molécule), puis on extrait trois fois à l'éther Tout cet éther est lavé avec très peu d'eau pure, puis distillé Le résidu rectifié à la pression ordinaire passe tout entier entre 190° et 200° et, à la seconde distillation, j'obtiens 32 gr bouillant nettement à 197° sous 750 mm Ce liquide incolore, de caractère nettement acide, d'odeur de sueur et en même temps un peu butyreuse, est de l'acide isocaproique (le point d'ébullition indiqué par cet acide est 199°,7) Le rendement est 55 pour 100

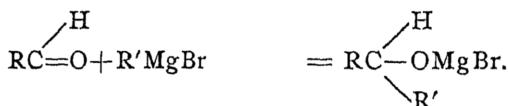
J'ai achevé d'identifier cet acide par son analyse et par sa transformation en éther éthylique

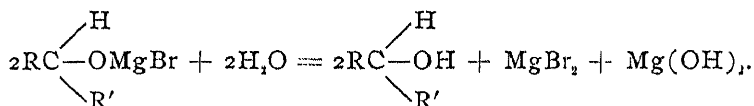
*Action des Combinaisons Organomagnésiennes sur les Aldéhydes*—Avec les composés organozinciques nous avions les réactions suivantes





Avec les combinaisons organomagnésiennes l'interprétation théorique reste sensiblement la même.





La réaction se fait donc toujours en deux phases: copulation équimoléculaire de l'aldéhyde avec le dérivé organométallique, puis décomposition par l'eau de la combinaison formée et mise en liberté de l'alcool secondaire

Il n'y a qu'un seul cas où cette méthode puisse conduire à des alcools primaires, c'est celui où l'on emploie la formaldéhyde qu'on peut sans doute ici remplacer par son trimère, le trioxyméthylène, comme dans le cas des composés organozinciques Je n'ai pas encore étudié ce cas particulier

Je ne reviendrai pas sur les avantages que présentent les combinaisons organomagnésiennes au point de vue du mode d'obtention, étudions ceux qu'ils offrent dans leur application à la méthode de Wagner

1° La première phase dans la méthode de Wagner exige, pour être complète, un temps assez long, d'une semaine à deux mois, au contraire, quelques heures suffisent généralement dans la méthode au magnésium

2° Au point de vue du rendement, il y a théoriquement, par la première méthode, perte de la moitié de l'éther halogéné d'où l'on est parti, sous forme d'hydrocarbure R'H La nouvelle méthode ne présente rien de semblable en raison même de la constitution des composés organomagnésiens

3° La méthode de Wagner, quoique lente, donne de bons résultats avec les premiers termes des composés organozinciques, mais dès le zincpropyle on observe des réactions secondaires, dont la plus commune est la réduction pure et simple de l'aldéhyde en alcool correspondant, et qui abaissent le rendement d'une façon notable Nous verrons, au contraire, qu'on peut aller avec le magnésium, au moins jusqu'au dérivé amylique, avant que ce phénomène se produise.

Je dois signaler enfin à l'actif du[1] zinc que la méthode de Saytzeff a pu être appliquée à un certain nombre d'aldéhydes, mais seulement pour la production d'alcools allyles secondaires, par Wagner et surtout par Fournier C'est là un point à retenir puisque précisément, comme je l'ai déjà indiqué, les combinaisons allylées du magnésium ne se prêtent que très mal aux synthèses

*Mode Opératoire*—Le mode opératoire étant toujours très sensiblement le même, qu'il s'agisse de faire réagir sur[2] les combinaisons organomagnésiennes une aldéhyde, une cétone ou un éther-sel, je le décrirai une fois pour toutes afin de ne pas avoir à y revenir.

Une molécule du composé organométallique étant préparée en solution dans l'éther anhydre, comme je l'ai indiqué précédemment, on refroidit le ballon sous un courant d'eau et l'on y fait tomber goutte à goutte, au moyen de l'entonnoir à robinet qui nous a déjà servi, un mélange à volumes égaux d'éther anhydre et de la quantité d'aldéhyde (une molécule) ou d'éther-sel (une demi-molécule) qui doit entrer en réaction

Dans la plupart des cas, cette réaction est très vive, au moins au début, chaque goutte produit en tombant un frémissement de fer rouge et donne naissance généralement à un flocon blanc ou jaunâtre qui, tantôt se redissout immédiatement, tantôt se dépose sous forme de magma cristallin, tantôt enfin vient former, au fond du ballon, une couche grisâtre plus ou moins visqueuse

Lorsque tout le mélange a été introduit dans le ballon on peut chauffer quelques heures au bain-marie, à une douce ébullition, et cela réussit très bien lorsque la combinaison formée est dissoute dans l'éther, mais, dans les autres cas, il est préférable, pour ne pas s'exposer à une surchauffe locale, d'abandonner le ballon pendant un jour à la température du laboratoire Le contenu du ballon est alors versé peu à peu sur de la glace pilée, puis on dissout la magnésie en ajoutant par petites portions de l'acide chlorhydrique, ou mieux de l'acide acétique en solution étendue. Théoriquement, il en faudrait une molécule; il est nécessaire, en

[1] à l'actif de = to the credit of, in favor of.

[2] qu'il s'agisse de faire réagir (une aldéhyde . .) sur = whether one makes (an aldehyde . . ) react on

réalité, d'en introduire un peu plus, on s'arrête d'ailleurs lorsque la liqueur devient claire et légèrement acide

On décante alors la couche éthérée et, dans le cas où l'alcool formé est soluble dans l'eau, on soumet la portion aqueuse à l'entraînement par la vapeur d'eau, puis on sépare l'alcool de la portion entraînée au moyen du carbonate de potasse.

La solution éthérée est lavée au bicarbonate de soude plutôt qu'au carbonate afin d'éviter de précipiter les sels magnésiens qui peuvent être dissous, en petite quantité dans l'éther. S'il y a lieu, on agite ensuite avec du bisulfite de soude pour enlever l'aldéhyde ou la cétone qui n'a pas réagi et l'on achève alors par un nouveau lavage au bicarbonate

On distille l'éther avec les précautions convenables, suivant la volatilité de l'alcool dissous, et l'on rectifie le résidu à la pression ordinaire ou sous pression réduite suivant le cas

Après la distillation de l'alcool, il reste généralement dans le ballon une quantité très faible, quelquefois nulle, de produits de polymérisation qui se décomposent quand on essaie de les distiller Quant à l'alcool, une seconde rectification suffit, dans la plupart des cas, pour l'obtenir bien pur et absolument exempt d'halogène

J'ai appliqué cette méthode aux aldéhydes suivantes Dans la série grasse éthanal et valéral qui sont saturées, aldéhyde crotonique, méthyléthylacroléin, citronellal et lémonal qui sont incomplètes Dans la série aromatique à la benzaldéhyde et enfin au furfurol Le lémonal m'a conduit à un hydrocarbure qui sera étudié plus tard

*Alcool isopropylique (propanol—2)*

J'ai reproduit cet alcool par l'action de l'éthanal sur le méthyliodure de magnésium Le rendement, 67 pour 100, est notablement supérieur à celui des procédés actuellement employés J'ai essayé, mais sans aucun succès, de remplacer l'éthanal par la paraldéhyde

*Diisobutylcarbinol (diméthyl—2—6 heptanol—4)*



$$(CH_3)_2 = CH—CH_2—CH\ (OH)—CH_2—CH = (CH_3)_2$$

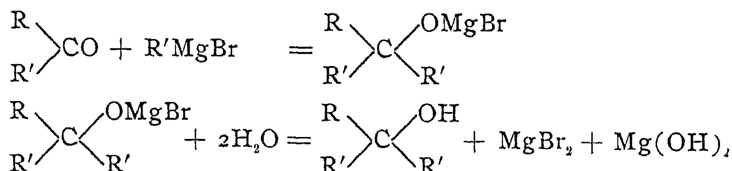
Il résulte de l'action de l'isovaléral sur l'isobutylbromure de magnésium. C'est un liquide incolore, peu mobile, d'odeur forte

et peu agréable, bouillant à 172°—174° sous 750 mm Rendement 55 pour 100. Analyse C,74,64, H,13,95 Calculé pour $C_9H_{20}O$ C,75,00, H,13,89

Il présente les constantes suivantes · $d_0 = 0{,}8237$; $d^4_{12} = 0{,}8155$, $n^{12}_D = 1{,}42629$ Son éther acétique est un liquide incolore, assez mobile, d'odeur fruitée agréable, qui bout à 183° sous 750 mm

## Action des Combinaisons Organomagnésiennes sur les Cétones

L'interprétation théorique est ici la même que dans le cas particulier de la méthode de Saytzeff où l'on opère avec l'iodure ou le bromure d'allyle.



L'avantage capital des combinaisons organomagnésiennes est de réagir normalement sur les cétones en -CO—$CH_3$, ce qui n'avait lieu, comme on sait, dans la méthode de Saytzeff, que pour les combinaisons allylées du zinc En outre, les réactions secondaires sont beaucoup moins importantes, et, par suite, les rendements bien meilleurs

*Triméthylcarbinol (méthyl—2 propanol—2).*



$(CH_3)_3 \equiv C(OH)$

Cet alcool a été préparé avec d'excellents rendements par Boutlerow, mais sa méthode est d'une application difficile et se prête mal à une préparation en grand

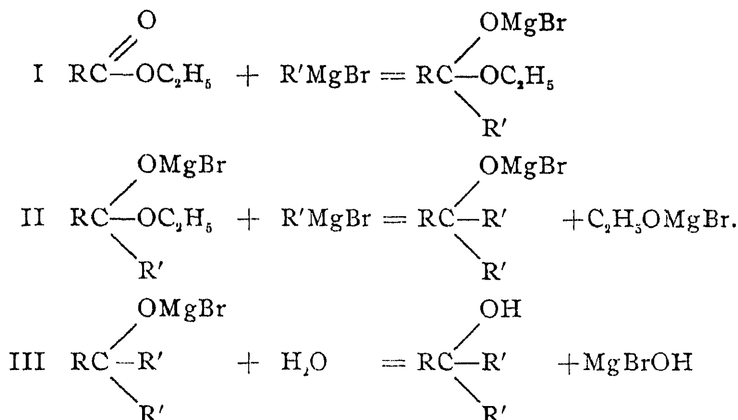
J'ai réalisé très commodément deux nouvelles synthèses de ce premier représentant des alcools tertiaires, mais je ne décrirai que la première.

Elle consiste à faire réagir l'acétone sur le méthyliodure de magnésium. Après décomposition par l'eau, il faut traiter séparément la solution éthérée et la solution aqueuse; on isole ainsi

l'hydrate $(C_4H_{10}O)_2 + H_2O$ que la distillation sur la baryte, puis sur le sodium, transforme en triméthylcarbinol cristallisable, fusible à 25°. Rendement 70 pour 100.

## Action des Combinaisons Organomagnésiennes sur les Ethers-Sels

La réaction se passe en trois phases, comme dans la méthode de Wagner-Saytzeff:




Il faut employer, comme on voit, par molécule d'éther-sel, deux molécules d'éther halogéné, tandis qu'il en faut quatre[1] dans la méthode de Wagner-Saytzeff En outre, la méthode de Wagner-Saytzeff ne paraît être pratiquement applicable, avec les iodures saturés, qu'à l'éther formique, et seulement avec l'iodure d'allyle, à tous les éthers

Avec les combinaisons organomagnésiennes, au contraire, la méthode est tout à fait générale, comme l'ont montré mes propres recherches d'abord, puis celles de MM Masson dans la série grasse, Bethal, Tiffeneau et Sommelet dans la série aromatique, Valeur sur les éthers d'acides bibasiques.

*Diéthylcarbinol (pentanol—3)*



$C_2H_5—CH(OH)—C_2H_5$

[1] tandis qu'il en faut quatre = while four are needed

Par l'action de l'éther formique sur l'éthylbromure de magnésium, j'ai reproduit le diéthylcarbinol avec un rendement de 73 pour 100 Il bout à 114°—115° sous 749 mm (116°5 sous 753, 2 mm, d'après Wagner et Saytzeff).

$$d_0 = 0{,}8391,\ d^4_{14{,}7} = 0{,}8271,\ n_D^{14{,}7} = 1{,}41243$$

*Diisoamylcarbinol* (*diméthyl—2—8 nonanol—5*)



$$(CH_3)_2 = CH—CH_2—CH_2—CH(OH)—CH_2—CH_2—CH = (CH_3)_2$$

Par l'action de l'isoamylbromure de magnésium sur le formiate d'éthyle, on obtient, au lieu de l'alcool attendu, son formiate, liquide mobile, d'odeur douce et agréable, qui bout à 100°—101° sous 8mm Analyse · C,71,95 et 71, 97; H,11,97 et 12,19 Calculé pour $C_{12}H_{24}O_2$ C,72,00, H,12,00

Il se fait[1] un peu d'alcool amylique en même temps Par saponification, on obtient le diisoamylcarbinol, liquide assez mobile, d'odeur faible, bouillant à 105° sous 9mm

$$d_0 = 0{,}840,\ d^4_{12{,}6} = 0{,}8305,\ n_D^{12{,}6} = 1{,}43801$$

Analyse C, 76,44, H, 14,22. Calculé pur $C_{11}H_{24}O$.C, 76,74, H, 13,95.

## SUR UNE NOUVELLE MÉTHODE GÉNÉRALE DE SYNTHÈSE DES COMBINAISONS AROMATIQUES

PAR MM C FRIEDEL ET J M CRAFTS

*Annales de Chimie et de Physique*, Sixième Série, Vol I

### INTRODUCTION

Dans un travail que nous avons entrepris ensemble, nous avons été conduits à étudier l'action de l'aluminium en limaille ou en feuilles minces sur divers chlorures organiques

Nous avions voulu, pour transformer un chlorure organique en iodure, nous servir de la méthode de M Gustavson On sait que cette méthode consiste à mettre le chlorure en contact avec l'iodure d'aluminium Nous avons essayé de la modifier en plaçant le chlorure en présence de l'aluminium et de l'iode en quantités convenables pour former l'iodure d'aluminium

[1] il se fait = there is formed

Dans ces conditions, il se produit une réaction extrêmement vive, qui ne fournit pas l'iodure organique cherché, nous avons reconnu bientôt qu'une très petite quantité d'iode, ajoutée au mélange d'aluminium et de chlorure, suffit pour la déterminer, et qu'elle se fait avec un abondant dégagement d'acide chlorhydrique

L'iode peut aussi être entièrement supprimé, seulement, dans ce cas, la réaction ne se produit pas à froid. Même en chauffant le chlorure organique additionné d'aluminium, on n'obtient tout d'abord qu'une réaction fort lente, peu à peu celle-ci s'accélère, et cela jusqu'au point de devenir tumultueuse et de ne pouvoir parfois être régularisée, même par le refroidissement du vase.

Soit avec l'aide de l'iode, soit sans l'intervention de cet agent, la réaction se produit avec un abondant dégagement d'acide chlorhydrique Pour le chlorure d'amyle sur lequel nous avons opéré principalement, dans nos premières expériences, ce dégagement est accompagné de la formation de nombreux hydrocarbures dont les uns sont gazeux, et dont les autres, liquides, bouillent à des températures variables et très élevées pour une partie d'entre eux Il se produit en même temps du chlorure d'aluminium, et la réaction est d'autant plus active que celui-ci s'est formé, aux dépens du chlorure organique, en proportion plus considérable

Cette dernière remarque nous a engagé à rechercher si la réaction principale, au lieu d'être due au métal, comme nous l'avions supposé d'abord, ne devait pas être, en réalité, attribuée au chlorure métallique

Il a été facile de nous assurer qu'il en est bien ainsi[1] Nous avons ajouté à du chlorure d'amyle de petites quantités de chlorure d'aluminium anhydre et nous avons vu aussitôt se produire à froid un vif dégagement gazeux Le gaz qui se dégage est formé d'acide chlorhydrique mélangé à des hydrocarbures gazeux non absorbables par le brome

Au sein du chlorure d'amyle, dans lequel les premières portions du chlorure d'aluminium s'étaient d'abord dissoutes, on voit se former des gouttes, puis une couche d'un liquide brunâtre plus

[1] qu'il en est bien ainsi = that such is the case

dense La réaction semble se passer principalement au contact des deux liquides. Nous avions d'ailleurs remarqué que, dans l'action de l'aluminium, il se produit un liquide brun tout pareil.

Lorsque la réaction s'est continuée assez longtemps, aidée à la fin, pour la compléter, d'une douce chaleur, on peut recueillir d'une part une quantité d'acide chlorhydrique, qui renferme la plus grande partie du chlore contenue primitivement dans le chlorure d'amyle employé, et de l'autre, une série d'hydrocarbures, les uns gazeux, les autres liquides, et bouillant à des températures variables allant jusqu'au-dessus de celle de l'ébullition du mercure. Le résidu renferme du chlorure d'aluminium qui peut être sublimé en lamelles hexagonales ou en croûtes cristallines lorsqu'on chauffe le vase assez longtemps en le faisant traverser par un courant d'un gaz inerte.

Dans une expérience faite avec 50 gr de chlorure d'amyle et 10 gr de chlorure d'aluminium, nous avons recueilli 12 gr ,5 d'acide chlorhydrique, en faisant passer les gaz dans un flacon laveur renfermant de l'eau Les hydrocarbures liquides dont le poids était de 26 gr ,5 renfermaient 9 pour 100 de chlore, c'est-à-dire, 2 gr ,5 d'acide chlorhydrique en tout 15 gr Le chlorure d'amyle employé pouvait fournir 17 gr d'acide chlorhydrique

Nous n'avons pas encore fait l'étude complète des produits hydrocarbonés qui se forment dans cette réaction Nous réservons cette étude pour un Mémoire ultérieur, où elle sera accompagnée de celle des produits qui prennent naissance par l'action du chlorure d'aluminium sur divers hydrocarbures. Nous avons constaté seulement que les carbures gazeux appartiennent à la série des hydrocarbures saturés $C_nH_{2n+2}$, les gaz, en traversant le brome, ne fournissent que des quantités négligeables de produits bromés. Les termes bouillant plus haut sont plus pauvres en hydrogène Un produit bouillant de 245-260°, et ne renfermant qu'une trace de chlore, a donné à l'analyse

| | |
|---|---|
| Matière | 0 gr ,211 |
| Acide carbonique | 0 ,674 |
| Eau | 0 ,2419 |

soit, en centièmes,[1]

[1] en centièmes = in per cent

| | | $n(C_4H_7)$ | $n(C_5H_8)$ |
|---|---|---|---|
| C | 87,11 | 87,27 | 88,24 |
| H | 12,73 | 12,72 | 11,76 |

Des faits précédents nous pouvons conclure que certains chlorures organiques sont attaqués par le chlorure d'aluminium avec dégagement d'acide chlorhydrique, cette attaque est accompagnée d'une dislocation complète du radical hydrocarbure. le chlorure d'amyle ne se scinde pas simplement en acide chlorhydrique et amylène, ce dernier fournissant ensuite des carbures supérieurs par polymérisation, il semble plutôt que deux molécules de chlorure d'amyle interviennent pour fournir l'une le chlore et l'autre l'hydrogène

Cette observation et la complication évidente des produits formés aux dépens du chlorure d'amyle nous ont decidés à laisser de côté, pour le moment, l'étude de ces produits et à tenter une réaction pouvant donner des résultats plus simples et d'une application plus facile Nous avons pensé qu'en mettant le chlorure organique en présence d'un hydrocarbure et en faisant réagir sur leur mélange le chlorure d'aluminium, le premier fournissant le chlore, le deuxième l'hydrogène, nous pourrions obtenir un hydrocarbure résultant de la combinaison de deux résidus On possédait, en effet, des exemples de réactions de cet ordre, réalisées par M Zincke à l'aide de la poudre de zinc par un mécanisme inexpliqué, mais néanmoins fécond

Nous avons trouvé, en effet, en nous plaçant dans ces conditions, des faits qui nous ont conduits à une méthode générale de synthèse des hydrocarbures de la série aromatique

En cherchant à interpréter les réactions produites, nous pensons avoir trouvé en même temps l'explication de celle due à M. Zincke et d'autres réactions que M Gustavson a fait connaître depuis et qui consistent dans la substitution plus facile et plus complète du chlore et du brome dans les hydrocarbures lorsqu'on fait agir ces métalloides sur eux, en présence du chlorure ou du bromure d'aluminium.

Nous avons trouvé, en outre, des réactions d'un ordre tout différent, se rattachant cependant aux premières par la théorie même que nous avons proposée pour celles-ci. Nous voulons

parler de réactions, non plus de substitution comme les précédentes, mais d'addition.

## Action des Chlorures Organiques sur les Hydrocarbures Aromatiques, en Présence du Chlorure d'Aluminum

### *Chlorure d'Amyle et Benzine*

Nous avons commencé par étudier l'action du chlorure d'aluminium sur un mélange de benzine et de cholure d'amyle, préparé avec l'alcool amylique ordinaire

Après avoir ajouté à du chlorure d'amyle sec, contenu dans un ballon à long col, un excès notable de benzine cristallisable bien desséchée, nous avons introduit par petites portions du chlorure d'aluminium

Le chlorure d'aluminium doit être frais et non mélangé d'oxyde, comme cela arrive lorsqu'il est resté dans un flacon mal bouché On s'assure qu'il est propre à servir on en volatilisant une petite portion dans un tube d'essai bien sec; le chlorure doit se volatiliser en entier ou ne laisser au moins qu'un résidu peu abondant Pour manier le chlorure d'aluminium, pour le peser et pour le verser par petites portions, il est commode de le puiser dans le flacon à l'émeri[1] où on le conserve, au moyen d'un tube bouché de 0 m ,02 à 0 m. ,03 de diamètre, que l'on se hâte de fermer avec un bouchon

Quand on verse le chlorure d'aluminium peu à peu dans le mélange de chlorure d'amyle et de benzine, on voit se produire à froid une réaction régulière accompagnée d'un dégagement d'acide chlorhydrique, il se forme bientôt deux couches, dont l'inférieure est colorée en brun et renferme la presque totalité du chlorure d'aluminium Lorsque, même en ajoutant une petite quantité de chlorure d'aluminium et en chauffant doucement, on n'a plus vu se produire un dégagement notable d'acide chlorhydrique, on a séparé les deux couches et on les a traitées isolément par l'eau La couche brune inférieure donne lieu à un vif dégagement de chaleur lorsqu'on la décompose par l'eau; il faut

[1] flacon à l'émeri = glass stoppered bottle

avoir soin de la verser dans un ballon renfermant une notable quantité d'eau, et non de verser de l'eau dans le vase qui la contient. on s'exposerait à perdre une grande partie du produit. Les deux portions ont fourni, à la distillation, après avoir été desséchées au moyen du chlorure de calcium, à peu près les mêmes produits; seulement la couche limpide supérieure renfermait plus de benzine et une plus forte proportion des hydrocarbures bouillant à une température relativement basse.

La couche inférieure, au contraire, a fourni surtout des produits bouillant à une température élevée.

Il a été facile d'extraire des deux, par un petit nombre de distillations fractionnées, un liquide bouillant entre 185° et 190° et ayant la composition et les propriétes de l'amylbenzine.

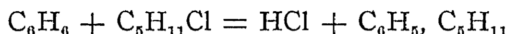
o gr ,200 de matière ont donné à l'analyse

| | |
|---|---|
| Acide carbonique | o gr ,6585 |
| Eau | o ,1985 |

soit, en centièmes,

| | Trouvé | Théorie pour ($C_6H_{11}$, $C_6H_5$) |
|---|---|---|
| C | 89,79 | 89,18 |
| H | 10,97 | 10,81 |

La réaction qui a donné lieu à la formation de l'amylbenzine peut être exprimée empiriquement par l'équation



$$C_6H_6 + C_5H_{11}Cl = HCl + C_6H_5, C_5H_{11}$$

Des résultats obtenus dans d'autres expériences, nous pouvons conclure que les portions du produit bouillant à une température plus élevée renferment des dérivés de la benzine, dans lesquels deux ou plusieurs atomes d'hydrogène sont remplacés par le radical amyle

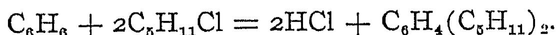
Nous ne nous sommes pas occupés de les isoler.

Mais nous pouvons ajouter que M Amory Austin a préparé par notre procédé la diamylbenzine $C_6H_4(C_5H_{11})_2$, en employant le chlorure d'amyle actif. La diamylbenzine obtenue, soit du premier jet,[1] soit en faisant réagir le chlorure d'amyle en présence du chlorure d'aluminium sur l'amylbenzine, bout vers 265°; elle est liquide, incolore, d'une odeur légèrement aromatique et d'une

[1] premier jet = in one step reaction, directly

saveur qui rappelle la térébenthine. Elle est très mobile et brûle avec une flamme fuligineuse Elle est soluble dans la benzine, dans l'alcool et dans l'éther. Sa densité à 0° est de 0,8868.

Elle s'est formée suivant l'équation

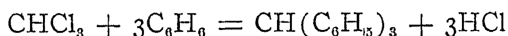


$$C_6H_6 + 2C_5H_{11}Cl = 2HCl + C_6H_4(C_5H_{11})_2.$$

### Chloroforme et Benzine

Ayant constaté que les chlorures alcooliques réagissent sur la benzine en présence du chlorure d'aluminium de manière que le radical alcoolique prenne la place d'un des atomes d'hydrogène de la benzine, nous nous sommes demandé comment réagiraient les chlorures renfermant un plus grand nombre d'atomes de chlore

Nous avons opéré d'abord avec le chloroforme et nous avons reconnu facilement que la réaction est tout à fait analogue et que chacun des atomes de chlore du chloroforme est remplacé par une fois le groupe phenyle de la benzine, de sorte que le produit est le triphénylméthane



$$CHCl_3 + 3C_6H_6 = CH(C_6H_5)_3 + 3HCl$$

Les meilleurs proportions à employer sont les suivantes· 1100 grammes de benzine, 200 grammes de cloroforme et 200 grammes environ de chlorure d'aluminium, qu'on ajoute en quatre ou cinq fois pour éviter une réaction trop énergique A la fin, on chauffe à l'ébullition la benzine pendant deux heures, pour achever la réaction En recueillant l'acide chlorhydrique, on constate qu'il s'en dégage environ 130 grammes au lieu de 183,4 grammes, qui correspondent théoriquement à une réaction complète. Même en faisant bouillir pendant beaucoup plus longtemps, on ne parvient pas à chasser tout le chlore du chloroforme et l'on tombe dans un inconvénient qui sera signalé plus bas, le chlorure d'aluminium réagissant à son tour sur le triphénylméthane formé, pour le décomposer.

On verse le produit brut dans l'eau, on décante et l'on distille· on obtient ainsi 280 grammes d'un produit bouillant au-dessus de 156°, c'est-à- dire ne renfermant plus de benzine. Quand on chauffe ce liquide pour le distiller, on ne voit rien passer avant 200°. Vers cette température, il se produit une ré-

action, accompagnée du dégagement d'une quantité notable d'acide chlorhydrique et d'un peu d'eau Si l'on a fait bouillir préalablement le produit brut avec une solution étendue de soude caustique, on observe néanmoins le même phénomène à la distillation.

On sépare par la distillation fractionnée environ 40 grammes de diphénylméthane et 150 grammes de triphénylméthane

Les autres produits bouillent principalement au-dessus de la température d'ébullition du triphénylméthane et peuvent en être séparés en partie par des distillations, en partie par des cristallisations dans l'alcool

Il reste 50 grammes d'un résidu noir charbonneux

Le triphénylméthane est facile à purifier en se servant de la propriété qu'il a de donner avec la benzine une combinaison cristallisée Cette combinaison se forme immédiatement sur le porte-objet[1] du microscope lorsqu'on met la benzine en contact avec le triphénylméthane, elle présente des formes rhomboédriques qui, d'abord transparentes, deviennent bientôt opaques en perdant la benzine qu'elles renferment Ces cristaux ne sont pas très solubles dans la benzine et peuvent être purifiés des carbures huileux qui y étaient mélangés par des lavages avec une petite quantité de benzine On peut ensuite laisser effleurir les cristaux à l'air, ou bien chasser la benzine par distillation, et faire enfin cristalliser le triphénylméthane dans l'alcool On l'obtient tout à fait pur et fondant à 94°

Il a donné à l'analyse

| | |
|---|---|
| Matière employée | 0 gr ,2115 |
| Acide carbonique | 0 ,7231 |
| Eau | 0 ,1280 |

ou, en centièmes,

| | | Théorie ($C_{19}H_{16}$) |
|---|---|---|
| C | 93,24 | 93,44 |
| H | 6,72 | 6,55 |

Le triphénylméthane est toujours accompagné d'une certaine quantité de diphénylméthane, ainsi que l'ont indiqué MM. E. et O. Fischer. Ces savants attribuent la formation de ce dernier composé à l'action réductrice qu'exercerait le chlorure d'alumi-

[1] porte-object = stage

et 140 gr de diphénylméthane La même quantité de chloroforme, en opérant comme il a été indiqué plus haut, nous ont fourni 500 gr de triphénylméthane et 120 gr. de diphénylméthane

L'emploi du chlorure d'aluminium altéré par l'humidité de l'air diminue aussi notablement le rendement et favorise la destruction des hydrocarbures formés.

Nous ajouterons encore que M Schwartz a signalé la formation de tétraphényléthylène $C_2(C_6H_5)_4$ qui pourrait provenir de la décomposition du corps $CHCl(C_6H_5)_2$.



$$2CHCl(C_6H_5)_2 = C_2(C_6H_5)_4 + 2HCl.$$

Nous pensons qu'il y a lieu de révoquer en doute[1] ce fait, qui est du reste le seul, dans le travail de M Schwartz, qui serait nouveau, malgré la prétention qu'il a eu de donner un "nouveau procédé de préparation du triphénylméthane" Nous obtenons bien, en opérant dans les mêmes conditions, des corps qui ressemblent aux siens, surtout quand la purification n'en est pas achevée; mais ce qu'il a pris pour le tétraphényléthylène est l'anthracène, son tétratolyléthylène est le diméthylanthracène, et nous soupçonnons que le corps obtenu par lui avec le xylène est le tétraméthylanthracène et probablement un mélange de plusieurs isomères.

Voici la comparaison des données de M. Schwartz avec celles qui correspondent aux propriétés des corps de la série de l'anthracène, dont nous avons observé la formation dans des conditions analogues.

Corps cristallisé en lamelles jaune clair, fondant à 204°, se sublimant facilement à 200°, très peu soluble dans l'alcool bouillant, beaucoup moins soluble dans la benzine que le triphénylméthane.

| | Anthracène (théorie), Point de fusion 213° | Produit de M Schwartz ($CHCl_3$ sur $C_6H_6$) | | Tétraphényl éthylène théorie $C_{26}H_{20}$ |
|---|---|---|---|---|
| C . .. | .. 94,38 | 94,03 | 93,88 | 93,97 |
| H . | 5,63 | 5,93 | 5,91 | 6,03 |

Corps cristallisé en lamelles jaune plus foncé, un peu moins soluble, fond à 215°, commence à se sublimer à 180°-200°.

[1] il y a lieu de révoquer en doute = there is reason to doubt

encore une autre cause. c'est l'action décomposante que le chlorure d'aluminium exerce sur le triphénylméthane comme beaucoup d'autres hydrocarbures. Nous reviendrons plus tard sur cette propriété curieuse du chlorure d'aluminium Nous nous contenterons de citer ici des expériences faites avec le triphénylméthane, qui mettent hors de doute l'action qu'exerce sur lui le chlorure d'aluminium.

Si l'on chauffe le triphénylméthane pendant dix minutes environ, à la température de 120°, avec le tiers de son poids de chlorure d'aluminium, le carbure est presque entièrement décomposé Par distillation avec la vapeur d'eau, on isole de la benzine, sans proportion appréciable de toluène; le résidu est un hydrocarbure renfermant seulement des traces de chlore et qui a l'aspect de l'asphalte Il se décompose entièrement à la distillation et le seul produit qu'on ait pu isoler est la benzine, qui s'est d'ailleurs produite en proportion notable

Le triphénylméthane, chauffé pendant dix heures environ à une température inférieure à celle de l'ébullition de la benzine, avec 75 fois son poids de benzine et avec son poids de chlorure d'aluminium, a fourni plus du tiers de son poids de diphénylméthane Il n'était pourtant pas tout à fait décomposé

Sans nier la possibilité d'une réduction par le chlorure d'aluminium agissant en présence d'hydrocarbures aromatiques, nous croyons qu'il faut attribuer, dans la production du diphénylméthane, une influence prépondérante aux réactions que nous venons de signaler

Il résulte évidemment de l'action décomposante que le chlorure d'aluminium exerce sur le triphénylméthane la nécessité de ne pas laisser ce produit trop longtemps, après sa formation, en contact avec l'agent qui a servi à le produire, c'est-à-dire qu'il ne faut pas trop longtemps prolonger la réaction.

Il est probable que c'est en bonne partie à cette cause qu'il faut attribuer les rendements, beaucoup moins favorables en triphénylméthane et plus forts en diphénylméthane, obtenus par MM. Fischer, qui ont conseillé de chauffer le mélange de benzine, de chloroforme et de chlorure d'aluminium pendant trente heures; 700 gr. de chloroforme leur ont donné 200 gr. de triphénylméthane

nium. Cette manière de voir serait tout à fait d'accord avec la théorie que nous avons donnée des réactions qui se produisent sur les hydrocarbures en présence du chlorure d'aluminium. Nous avons admis qu'il se forme en très petite quantité et d'une manière transitoire un composé organométallique (avec la benzine, par exemple, le composé $C_6H_5$, $Al_2Cl_5$), qui pourrait bien exercer une action réductrice, comme fait le zinc-éthyle. Nous avons de fait[1] avec les corps nitrés observé des phénomènes qui rappellent les réductions exercées sur ces composés par le zinc-éthyle Mais, avec les chlorures, nous avons en général constaté le remplacement pur et simple du chlore par le phényle ou par un groupe analogue

Par contre, comme nous l'avons dit plus haut, même après une ébullition assez longue du mélange, on ne parvient pas à chasser à l'état d'acide chlorhydrique la totalité du chlore contenu dans le chloroforme Il reste du chlore dans le produit traité par l'eau et quand on distille, vers 200°, on voit se produire un abondant dégagement d'acide chlorhydrique Le produit distillé ne renferme pas de chlore Nous pensons que le composé $(C_6H_5)_2$-CClH, produit intermédiaire dans la réaction qui donne le triphénylméthane, persiste en certaine proportion dans le produit brut, et se décompose en même temps qu'une certaine quantité de triphénylméthane Il échange son chlore contre un atome d'hydrogène du triphénylméthane Le triphénylméthane attaqué pourrait donner le corps $C_2(C_6H_5)_6$; mais la production d'une quantité considérable de matières goudronneuses indistillables semble indiquer que le groupe phényle est attaqué en cédant de l'hydrogène et en donnant des produits de condensation complexes

Cette hypothèse de la formation du produit intermédiaire $CHCl(C_6H_5)_2$, que tout rend vraisemblable, nous a suggéré l'idée de quelques essais faits en vue de décomposer ce chlorure avant la distillation. Mais nous n'avons réussi à enlever complètement le chlore au mélange, ni en traitant celui-ci à l'ébullition, pendant longtemps, par le zinc et l'acide chlorhydrique en solution alcoolique, ni en le faisant bouillir avec une dissolution de potasse

Pour le dire tout de suite, la production du diphénylméthane a

[1] de fait = in fact

| | Diméthyl anthracène (théorie) fond à 225° | Produit de M Schwartz $CHCl_3$ sur toluène | | | Tétratolyl éthylène Théorie $C_{30}H_{28}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| C . . . . . . | 93,20 | 92,68 | 92,67 | 93,60 | 92,79 |
| H . . . . | 6,80 | 7,21 | 7,00 | 6,89 | 7,21 |

M Schwartz n'a d'ailleurs fait aucune expérience pour mieux caractériser ces corps ou pour faire ressortir leurs fonctions chimiques Leur mode de préparation et de purification, leur aspect, leurs points de fusion, combinés avec les résultats des analyses suffisent pour nous convaincre de leur identité avec l'anthracène et avec le diméthylanthracène

Nous avons, en collaboration avec M C Vincent, isolé dans les produits accessoires de la même réaction, c'est-à-dire du chloroforme sur le benzine, en employant les proportions indiquées plus haut, l'anthracène et le phénylanthracène, ce dernier en quantité prépondérante

Les produits bouillant à une température élevée et cristallisables ont été repris à plusieurs reprises[1] par la benzine et par l'alcool, ou dissous dans la benzine et précipités par l'alcool, de manière à séparer les produits plus ou moins solubles Nous sommes parvenus à isoler ainsi une certaine proportion de triphénylméthane, puis un carbure beaucoup moins soluble en belles lamelles jaunes fondant à 154°, puis un autre moins soluble encore en lamelles jaune verdâtre fondant à 213°.

Le carbure fondant à 154° a donné à l'analyse les nombres suivants

| | | |
|---|---|---|
| I | Matière employée | 0 gr ,194 |
| | Acide carbonique | 0 ,675 |
| | Eau . | 0 ,1025 |
| II | Matière employée | 0 gr ,195 |
| | Acide carbonique | 0 ,673 |
| | Eau . . | 0 ,100 |

ou, en centièmes,

| | I | II | Théorie $C_{20}H_{14}$ |
|---|---|---|---|
| C . . . | 94,89 | 94,12 | 94,49 |
| H . . . . . . | 5,87 | 5,69 | 5,51 |

Ce carbure bout à 417° du thermomètre à hydrogène de l'un de nous.

[1] ont été repris à plusieurs reprises = were redissolved several times

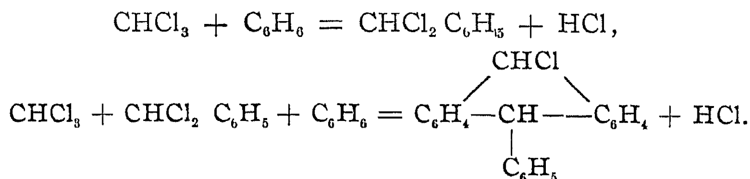
On a pris sa densité de vapeur, dans l'azote, à la température d'ébullition de la vapeur de soufre, par le procédé de M V Meyer

On a trouvé

| | | |
|---|---|---|
| I | Matière employée | 0 gr ,150 |
| | Azote recueilli à 17°,5 et sous la pression de 769 mm ,58 | 14 cc ,81 |
| | Densité .. | 8 ,40 |
| II | Matière employée | 0 gr ,104 |
| | Azote recueilli à 18° et sous la pression de 769 mm ,58 | 9 cc ,7 |
| | Densité | 8 ,90 |

Le carbure resté dans l'appareil, ayant été repris par la benzine et cristallisé dans l'alcool, avait encore son point de fusion de 154°

La densité théorique du phénylanthracène est de 8,79 On comprend la formation de l'anthracène par l'action de deux molécules de chloroforme sur deux molécules de benzine, il se formerait ainsi un hydrure d'anthracène bichloré qui peut perdre HCl pour donner un anthracène chloré, lequel serait lui-même réduit en anthracène Quant au phénylanthracène, sa production est probablement précédée de celle du bichlorure de benzilidène produit par l'action de 1 molécule de chloroforme sur 1 molécule de benzine Ce chlorure, réagissant en même temps que 1 molécule de chloroforme sur 2 molécules de benzine, donnerait un hydrure chloré de phénylanthracène, et, par perte de HCl, le phénylanthracène



$$CHCl_3 + C_6H_6 = CHCl_2\,C_6H_5 + HCl,$$

$$CHCl_3 + CHCl_2\,C_6H_5 + C_6H_6 = C_6H_4{-}\overset{CHCl}{CH}(C_6H_5){-}C_6H_4 + HCl.$$

Nous avons, d'ailleurs, vérifié la nature du carbure ci-dessus en le soumettant à l'oxydation au moyen de l'acide chromique en solution dans l'acide acétique cristallisable. Nous avons trouvé qu'il fournit facilement le phényloxanthranol qui a été obtenu, comme on le sait, par M. Baeyer en oxydant le phénylanthranol.

Celui-ci provient lui-même de l'action des déshydratants et particulièrement de l'acide sulfurique sur la diphénylphtalide. Le phényloxanthrol de M. Baeyer fond à 208°, celui que nous a fourni l'oxydation du phénylanthracène fond à 216°. Il a d'ailleurs, comme le corps décrit par M Baeyer, la propriété de se dissoudre dans l'acide sulfurique en le colorant en pourpre. Il cristallise en petits prismes clinorhombiques et est accompagné d'un autre corps, soluble comme lui dans l'acide sulfurique avec une couleur rouge, mais qui fond à 192° et dont les cristaux sont orthorhombiques Nous avons eu ce dernier jusqu'ici en trop petite quantité pour l'examiner plus complètement et pour l'analyser.

Lorsqu'on emploie beaucoup plus de chloroforme et moins de benzine que nous ne l'indiquons, on obtient surtout des produits liquides bouillant à une température plus élevée que le triphénylméthane. Ces produits n'ont pas encore été étudiés.

### Chlorures d'Acides

Les chlorures d'acides réagissent sur les carbures aromatiques en présence du chlorure d'aluminium comme les chlorures d'alcools, et fournissent les acétones C'est là un excellent procédé de préparation de ces derniers corps, il est de beaucoup préférable à la distillation sèche d'un sel ou d'un mélange de sels, cette dernière fournit en effet toujours des mélanges de produits que l'on est obligé de séparer par des distillations fractionnées très multipliées, et sans être bien sûr finalement d'avoir un produit tout à fait pur L'action des chlorures d'acides sur la benzine, par exemple, ne fournit que l'acétone cherchée, mélangée seulement avec des produits bouillant d'ordinaire à une température très élevée et faciles à séparer Pour la benzophénone en particular, on l'obtient au moyen de l'oxychlorure de carbone, dans un état de grande pureté et telle qu'elle peut avantageusement servir, comme l'a fait voir l'un de nous, à la détermination du point fixe du thermomètre correspondant à son ébullition

#### *Chlorure d'Acétyle*

Le chlorure d'acétyle réagit facilement à chaud en présence

du chlorure d'aluminium sur la benzine Lorsque le dégagement d'acide chlorhydrique se ralentit, on verse le produit dans l'eau, on décante et l'on distille comme d'habitude. On receuille une notable proportion d'un produit bouillant vers 200° et restant liquide à la température de zéro degré, jusqu'au moment où on le touche avec une parcelle de méthylbenzoyle cristallisé. Il possède d'ailleurs l'odeur caractéristique et toutes les propriétés de ce corps.

La réaction est exprimée par la formule



$$CH_3COCl + C_6H_6 = C_6H_5—CO\ CH_3 + HCl.$$

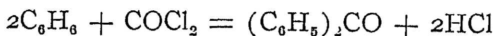
### Oxychlorure de Carbone

M Berthelot et d'autres expérimentateurs ont montré que, malgré des assertions contraires, l'oxychlorure de carbone ne réagit pas sur la benzine dans les conditions qui avaient été réalisées jusqu'ici Il n'en est pas de même en présence du chlorure d'aluminium Dans ce cas, la réaction se produit avec la plus grande facilité et à la température ordinaire, il ne se forme que très peu de produits accessoires· mais le produit principal n'est pas le chlorure de benzoyle, c'est la benzophénone Au lieu d'être exprimée par l'équation



$$C_6H_6 + COCl_2 = C_6H_5, CO, Cl + HCl,$$

la réaction répond pour la plus grande partie à la suivante



$$2C_6H_6 + COCl_2 = (C_6H_5)_2CO + 2HCl$$

On ne peut pas s'en étonner, comme on vient de le voir, le chlorure de benzoyle se transforme facilement en présence de la benzine additionnée de[1] chlorure d'aluminium en benzophénone.

Pour isoler une proportion appréciable du chlorure de benzoyle qui évidemment s'est formée tout d'abord, il est nécessaire de sacrifier une portion de l'oxychlorure de carbone en interrompant la réaction longtemps avant qu'elle soit complétée.

Celle-ci, quoique donnant une certaine quantité de chlorure de benzoyle et par suite d'acide benzoique, ne fournit pas un procédé pratique pour la préparation de cet acide. Pour la benzo-

[1] additionnée de = to which has been added

phénone au contraire, il permet de l'obtenir en aussi grande abondance qu'on veut.

L'oxychlorure de carbone a été préparé de la manière ordinaire en faisant agir le chlore sur l'oxyde de carbone au soleil. On a enlevé l'excès de chlore en faisant passer le gaz au soleil, dans de la benzine et ensuite sur du zinc en tournure. Le gaz traversait une série de flacons renfermant de la benzine additionnée de chlorure d'aluminium. Les opérations duraient de quatre à six heures A la fin, chacun des flacons, et particulièrement le premier, renfermait de la benzophénone en dissolution Il est facile d'isoler celle-ci en traitant par l'eau pour dissoudre le chlorure d'aluminium et en distillant la benzine après lavage à la potasse La benzophénone n'est accompagnée que d'une très petite quantité d'une matière huileuse qui bout à une température plus élevée et qui pourrait être un dérivé du thiophène, corps qui n'était pas encore connu quand nous avons fait ce travail

La benzophénone est purifiée par des cristallisations répétées dans l'alcool, néanmoins, on ne l'obtient pas ainsi tout à fait pure, elle fond de 2° à 3° plus bas que la benzophénone pure et donne à l'analyse une perte de 1 à 2 pour 100 de carbone On n'a réussi à la préparer dans un état complet de pureté qu'en se fondant sur une remarque faite relativement à la solubilité dans l'alcool étendu de la matière huileuse, qui est moindre que celle de la benzophénone On a donc ajouté à la solution alcoolique de la benzophénone de petites quantités d'eau et l'on a séparé les premiers précipités Les derniers ont fourni le produit pur fondant à 46°, bouillant de 296° à 297° (250° non plongés dans la vapeur)

Elle a donné à l'analyse

| | |
|---|---|
| Matière . | 0 gr ,1972 |
| Acide carbonique . | 0 ,6182 |
| Eau . . .. . | 0 ,0944 |

ou, en centièmes,

| | | Théorie ($C_{13}H_{10}O$) |
|---|---|---|
| C | 85,50 | 85,71 |
| H | 5,33 | 5,49 |

On a réussi à l'obtenir plus pure encore et fondant alors à

47°8, en la chauffant à 250° avec 10 pour 100 d'acide sulfurique concentré, ou en la faisant bouillir avec de l'acide additionné de deux fois son poids d'eau Le produit plus oxygéné est détruit dans ces conditions; lavée à l'eau et cristallisée, la benzophénone est pure.

On a trouvé pour la densité de vapeur, par le procédé de V. Meyer, dans la vapeur de soufre·

| | |
|---|---|
| Matière | 0 gr.,144 |
| Volume d'air à 13° et à 713 mm ,15 | 15 cc ,8 |
| Température du baromètre | 7°,6 |

d'où

| | |
|---|---|
| Densité | 6,33 |
| Théorie | 6,29 |

En opérant au rouge sombre dans l'azote, on a trouvé:

| | |
|---|---|
| Matière | 0 gr ,0986 |
| Azote à 11° et 737 mm ,5 | 12 cc ,9 |
| Température du baromètre | 6°,7 |

d'où

| | |
|---|---|
| Densité | 6,4 |

La forme cristalline a d'ailleurs été trouvée identique avec celle de la benzophénone provenant de la distillation du benzoate de calcium

En opérant comme on vient de l'indiquer, on n'a obtenu que des traces d'acide benzoïque. Afin d'en obtenir davantage et de mettre ainsi en évidence les deux phases de la réaction, on a essayé de mettre la benzine en présence d'une plus forte proportion d'oxychlorure de carbone On y a réussi en condensant ce gaz dans la benzine refroidie. On ne peut pas de prime abord[1] refroidir la benzine au-dessous de son point de cristallisation, mais, à mesure qu'elle se charge d'oxychlorure, son point de fusion s'abaisse, et finalement elle peut rester liquide dans un mélange de glace et de sel marin Il n'y a donc aucune limite à la quantité d'oxychlorure qu'un poids donné de benzine peut condenser On peut aussi concentrer une solution étendue d'oxychlorure de carbone dans la benzine en faisant cristalliser une

[1] de prime abord = at first

partie du dissolvant par un froid énergique Presque tout l'oxychlorure reste dans la partie liquide

L'absorption de l'oxychlorure par le toluène et par le xylène se fait dans des conditions encore plus favorables Il est facile d'obtenir l'oxychlorure liquide pur en se servant pour le condenser tout d'abord d'un hydrocarbure à point d'ébullition élevé et distillant ensuite la solution pour receuillir l'oxychlorure dans un récipient refroidi à zéro

Pour essayer d'obtenir l'acide benzoique, on a pris 200 grammes de benzine tenant en dissolution 110 grammes d'oxychlorure de carbone et l'on y a ajouté successivement par petites portions, 72 grammes de chlorure d'aluminium La réaction a commencé à la température ordinaire et s'est continuée sans dégagement de chaleur Le dégagement d'acide chlorhydrique a été tout à fait régulier La fiole où se faisait la réaction a été refroidie avec de l'eau dans laquelle on mettait de temps à autre un morceau de glace, pour diminuer autant que possible l'entraînement de l'oxychlorure par l'acide chlorhydrique Si l'on vient à refroidir jusqu'à zéro, on arrête la réaction Celle-ci a duré en tout vingt heures Au bout de ce temps, l'addition d'une nouvelle portion de chlorure d'aluminium n'a plus provoqué de réaction Le produit a été traité par l'eau et la benzine surnageante lavée avec la potasse, puis celle-ci a été distillée pour isoler la benzophénone On a obtenu ainsi 76 grammes de benzophénone presque pure et 2 grammes d'un produit bouillant plus haut On n'a trouvé que des traces d'acide benzoique

Le rendement en benzophénone a été relativement plus grand dans une autre opération où l'on a employé de la benzine beaucoup moins chargée d'oxychlorure

Lorsqu'on a soin de ne pas laisser la réaction s'achever complètement, on obtient un résultat plus favorable au point de vue de l'acide benzoique, quoique la proportion de ce dernier ne soit jamais bien considérable

On a laissé réagir pendant quarante-cinq minutes 30 grammes de chlorure d'aluminium sur le liquide obtenu en extrayant par cristallisation 115 grammes de benzine de la solution de 25 grammes d'oxychlorure dans 200 grammes de benzine, après quoi

on a ajouté de l'eau. La benzine surnageante, même après avoir été chauffée avec de l'eau, possédait l'odeur du chlorure de benzoyle Une petite quantité traitée par l'alcool a donné l'odeur caractéristique de l'éther benzoique. On a pu extraire 0 gr. ,55 d'acide benzoique de la liqueur aqueuse et de la solution obtenue en agitant de la benzine avec de la potasse, acidulant la liqueur et reprenant par l'éther.

Cet acide fondait à 120°8 et distillait à 243°-245° Son sel d'argent a donné

| | | |
|---|---|---|
| Matière . | 0 gr | ,2445 |
| Argent . . | 0 | ,116 |

ou, en centièmes, 47,44, théorie, 47,15.

La quantité de benzophénone obtenue en même temps était d'environ 12 gr

On voit que, comme on pouvait le prévoir, la condition essentielle pour obtenir de l'acide benzoique est d'interrompre la réaction avant que tout le chlorure de benzoyle ait eu le temps de réagir sur la benzine avec l'aide du chlorure d'aluminium

La réaction peut donc être exprimée par les équations



$$C_6H_6 + COCl_2 = C_6H_5, COCl + HCl,$$

et



$$C_6H_5, COCl + C_6H_6 = C_6H_5, CO, C_6H_5 + HCl$$

La benzophénone ayant été traitée à une température allant jusqu'à 220°, par le chlorure de carbonyle en présence du chlorure d'aluminium, n'a pas donné d'anthraquinone On n'a réussi à isoler aucun autre produit que la benzophénone.

MM Ador et Rillet, opérant de même avec le toluène et l'oxychlorure de carbone, ont obtenu une diméthylbenzophénone



$$CH_3, C_6H_4, CO, C_6H_4, CH_3$$

et, comme produit intermédiaire, le chlorure d'un acide méthylbenzoique qui n'est autre que l'acide paratoluique. L'acétone paraît être identique avec la diméthylbenzophénone de MM. Weller, Fischer et Hepp Elle bout à 333°-333,°5 et cristallise à 92°. Ils l'ont transformée, par l'action de l'acide iodhydrique et du phosphore, en ditolylméthane et ont reconnu que ce corps est cristallisable, fond à 22°-23° et bout à 285°,5-286°5.

Il fournit un dérivé bibromé fondant à 215° et un dérivé binitré fondant à 164°, comme le corps préparé par M. Weller.

Par l'oxydation, la diméthylbenzophénone donne un acide toluylbenzoique fondant à 228°, volatil sans décomposition, et un acide benzophénone-dicarbonique



$$CO(C_6H_4CO_2H)_2,$$

fondant et se sublimant au-dessus de 300°.

Par fusion de l'acétone avec la potasse, on obtient aussi l'acide paratoluique

## NOUVELLES MÉTHODES GÉNÉRALES D'HYDROGÉNATION ET DE DÉDOUBLEMENT MOLÉCULAIRE BASÉES SUR L'EMPLOI DES MÉTAUX DIVISÉS

PAR MM PAUL SABATIER ET J B SENDERENS

*(Paul Sabatier, doyen de la Faculté des Sciences de Toulouse )*

*Annales de Chimie et de Physique,* 1905, 8th Series, Vol 4

### GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTHODES

Le principe des nouvelles méthodes que nous avons instituées consiste dans l'action catalytique spéciale qu'exercent sur les composés volatils certains métaux agissant sous forme très divisée, tels qu'on les obtient en réduisant leurs oxydes par l'hydrogène. Ce sont, par ordre d'activité décroissante, le nickel, le cobalt, le fer, le cuivre

Nous avons étudié fréquemment, à côté de ces métaux, le platine divisé (mousse ou noir) Nous avons plus particulièrement employé comme noir de platine celui qu'on prépare en traitant par la grenaille de zinc une solution chlorhydrique de chlorure platinique et séchant à froid le produit bien lavé

Les autres métaux étant oxydables et même pyrophoriques à l'air, doivent être préparés dans l'appareil même où leur action devra se produire. Tout accès de l'air agirait sur leur surface pour les oxyder et détruirait ou diminuerait leur activité catalytique

Pour les préparer, il convient de partir d'un oxyde bien privé

de chlore ou de soufre. On arrive à de très bons résultats en produisant les nitrates par dissolution directe du métal dans l'acide azotique pur, et formant ensuite les oxydes par calcination des ces nitrates au rouge sombre

La réduction de l'oxyde sera faite au moyen d'hydrogène pur, où il importe qu'il n'y ait aucune trace de produit sulfuré ou chloré.

Cette réduction doit avoir lieu à des températures basses, toujours inférieures au rouge, sous peine de diminuer beaucoup l'activité catalytique du métal ou même de l'annuler.

Le nickel réduit au rouge n'agit presque pas, tandis que celui qui est réduit au-dessous de 300° possède une activité extrême qui s'use trop vite, il est préférable, le plus souvent, de préparer le nickel vers 350° La température de 300° est très convenable pour le cuivre. Pour le cobalt, il faut pratiquement opérer vers 400° Avec le fer, la réduction est beaucoup plus difficile; à 450°, il faut poursuivre l'action de l'hydrogène pendant 6 à 7 heures pour arriver à la transformation complète de l'oxyde en métal

Le nickel et le cuivre réduits sont non seulement beaucoup plus aisés à préparer que le fer et le cobalt, mais ils présentent en outre cet avantage que, leurs oxydes étant nettement réduits au-dessous de 200°, il n'y aura pas, dans les hydrogénations réalisées au-dessus de cette température, à tenir compte des oxydations légères qu'ils pourraient subir du fait de traces d'oxygène introduites par la matière qu'on hydrogène, ou diffusées au travers des tubes de caoutchouc L'oxyde, s'il s'était formé, ne pourrait subsister et régénérerait le métal avec formation d'eau

Pour le fer, la lenteur de la réduction serait un obstacle réel à son utilisation pratique comme métal catalyseur, si son emploi avait des avantages; mais, au contraire, il est dans tous les cas beaucoup moins actif que le nickel

*Appareil Employé Pour les Hydrogénations*—L'appareil que nous avons employé pour les hydrogénations au moyen des métaux réduits comprend

1° Un générateur d'hydrogène pur,

2° Un tube laboratoire[1] contenant le métal réduit qui doit déterminer l'hydrogénation;

3° Un dispositif permettant d'introduire avec l'hydrogène la substance qui doit subir l'hydrogénation,

4° Un dispositif destiné à recueillir les produits de la réaction

1° *Générateur d'Hydrogène*—Nous employons habituellement pour produire l'hydrogène de grands appareils continus de Sainte-Claire-Deville, constitués par des flacons de 10 à 15 litres, dont les tubulures inférieures sont reliées par un long tube de caoutchouc de gros diamètre L'un des flacons est maintenu à peu près plein de grenaille de zinc ordinaire· l'autre reçoit de l'acide chlorhydrique pur du commerce, additionné d'un demi-volume d'eau. Le gaz dégagé traverse un laveur contenant une solution assez concentrée de soude caustique, puis un laveur à acide sulfurique concentré dont le tube de sûreté porte une graduation indiquant la pression atteinte par le gaz Entre ces deux laveurs est interposé un robinet à vis permettant de faire varier à volonté le débit du gaz Au delà du laveur à acide sulfurique, le tube de caoutchouc qui emporte le gaz est muni d'une pince à vis, que l'on serre plus ou moins, de manière à régler la pression dans ce laveur Il suffit, pour obtenir un débit constant, de maintenir toujours identique la hauteur de l'acide soulevé dans le tube de sûreté qui sert de manomètre La grande dimension des appareils permet de conserver ce débit invariable pendant au moins 6 à 7 heures

L'hydrogène traverse ensuite un tube en verre d'Iéna rempli de tournure de cuivre chauffée au rouge, qui arrête la majeure partie des impuretés du gaz La purification se trouve complétée par le passage au travers d'un long tube rempli de fragments de potasse caustique, qui arrête les vapeurs acides ainsi que l'hydrogène sulfuré provenant du tube à cuivre, et au sortir duquel l'hydrogène pur et suffisammnent desséché se trouve dirigé de suite vers le tube à réactions

2° *Tube à Réactions*—Ainsi que nous l'avons dit plus haut, le métal catalyseur doit être produit dans le tube même où s'opèrera son action Dans un tube de verre plus ou moins long (0 m, 65

[1] tube laboratoire = reaction tube.

à 1 m), de 14 mm à 18 mm de diamètre intérieur, on dispose sur une longueur plus ou moins grande (0 m, 35 à 0 m, 80), un traînée peu épaisse de l'oxyde qui doit servir à préparer le méta catalyseur. Le tube est généralement chauffé sur une grill analogue à celles qu'on emploie pour les analyses organiques, mai où les becs Bunsen sont munis de sorte d'éventails à petits trous de manière à donner une série de petites flammes égales entr elles et très rapprochées qui repartissent bien la chauffe Le tub est couché dans une rigole de tôle hemicylindrique, où il repos sur une couche assez épaisse de magnésie calcinée ou de sable fin La température est indiquée très simplement par un thermomètr en verre vert gradué jusqu'à 450°, qui est couché dans la rigole côté du tube et dont on peut faire varier la position pour vérifie l'uniformité de l'échauffement

Pour certaines déterminations plus précises, nous nous somme servis d'une étuve parallélépipédique en cuivre (longueur 0 m, 65 largeur 0 m, 15, hauteur 0 m, 12), dont le centre est traversé d part en part par un tube horizontal de cuivre, à l'intérieur duque on dispose, à côté d'un thermométre, le tube renfermant déjà l traînée de métal réduit, préparé auparavant par chauffe sur un grille Un régulateur métallique de température, placé dans u tube de cuivre parallèle au premier à l'intérieur de l'étuve, agit su le gaz qui alimente la rampe de chauffage et permet de mainten à une température déterminée, uniforme et invariable, le liquid que contient l'étuve et, par conséquent, le tube à réactions C liquide peut être de l'huile ou pour les températures supérieures 250°, le mélange à poids égaux de nitrates de potassium et d sodium, qui est liquide à partir de 225°

Le chauffage sur la grille est moins régulier, mais il offre l'avantage de laisser voir dans l'intérieur du tube

3° *Introduction de la Substance* —Le mode d'introduction de l substance qui doit subir l'hydrogénation varie nécessairemen selon son état physique.

Si c'est un gaz (éthylène, acétylène, propylène, oxyde de carbone, anhydride carbonique, oxyde azotique ou azoteux), l bouchon antérieur du tube à métal est muni d'un tube à fourche dont l'une des branches amène l'hydrogène, l'autre le gaz qui doi

être transformé Celui-ci est fourni soit par un appareil continu (acétylène, anhydride carbonique), soit par un gazomètre en métal ou en verre où on l'a emmagasiné à l'avance, soit même par un appareil discontinu, quand la réaction qui fournit le gaz est suffisamment régulière (éthylène, oxyde azotique) Un dispositif avec laveur indicateur de pression, compris entre un robinet à vis et une pince à vis, permet, comme pour l'hydrogène (p 223), de débiter le gaz avec une vitesse constante bien exactement réglée· dans le cas où le gaz est produit par un appareil discontinu, on ménage, à l'aide d'un tube plongeant à une certaine profondeur dans du mercure, une sorte de soupape de sûreté qui permet à l'excès de gaz de s'échapper

La jonction entre le tube qui amène le gaz et le tube à fourche ne se fait qu'au moment de l'expérience et seulement après qu'on s'est assuré de la pûreté du gaz débité Elle doit avoir lieu en évitant toute rentrée d'air à l'intérieur de l'appareil on y parvient aisément par une manœuvre simple sur laquelle il est inutile d'insister

On a beaucoup plus souvent à hydrogéner des corps liquides à la température ordinaire Si le liquide est très volatil à froid (benzène, éthanal, propanal, peroxyde d'azote), on peut se contenter de l'introduire au moment de l'expérience, après la réduction de l'oxyde, dans un laveur qui était déjà traversé par l'hydrogène ce dernier, barbotant au travers du liquide, se sature de sa vapeur et la conduit ainsi au contact du métal

Dans l'immense majorité des cas, la dose de vapeurs entraînée ainsi par le courant d'hydrogène serait extrêmement faible et souvent à peu près nulle Dans ce cas, pour arriver à l'introduction régulière des vapeurs du corps, nous avons imaginé un dispositif d'une extrême simplicité On se sert d'un tube capillaire pour conduire le liquide de l'extérieur à l'intérieur du tube chauffé Le liquide à hydrogéner est placé dans un tube vertical dont le fond est fermé par un bouchon que traverse la branche verticale d'un tube capillaire, dont la branche horizontale s'engage dans le bouchon antérieur du tube à métal

Pour un liquide donné, l'écoulement est d'autant plus rapide que le diamètre du tube capillaire est plus grand, et que la hauteur

AB du niveau du liquide est plus considérable. En maintenant cette hauteur constante on obtient un débit du liquide rigoureusement constant

On peut arriver à un réglage encore plus parfait en se servant d'un tube capillaire ayant la forme de la figure 2, c'est-à-dire où l'extrémité se trouve sur le prolongement de la partie horizontale BC c'est alors exclusivement la hauteur de liquide dans le tube large vertical qui détermine le débit Il est bon de s'arranger de manière que le liquide ne s'écoule pas par gouttes tombant en C dans le tube à réactions, mais qu'il y réalise un écoulement continu soit parce que son extrémité C touche la paroi du tube, soit qu'il affleure[1] simplement la paroi intérieure du bouchon de liège D, le long de laquelle glisse constamment le filet liquide

Le choix du tube capillaire dépendra de la viscosité plus ou moins grande du liquide à traiter il devra être d'autant plus fin que le liquide est plus mobile Ainsi il faut des tubes beaucoup plus étroits pour le benzène et les carbures voisins que pour le phénol et le nitrobenzène

Grâce à l'emploi du tube capillaire, qui peut être d'ailleurs alimenté par un vase de surface aussi large que l'on veut, la distribution du liquide à hydrogéner est réalisée automatiquement sans autre précaution que de rétablir de temps en temps le niveau du liquide dans le vase d'alimentation

Il convient qu'un certain intervalle sépare le bouchon D de la partie chauffée du tube 3 cm ou 4 cm suffisent dans la pratique Il faut aussi que la traînée de métal ne commence qu'un peu plus loin, à 8 cm à 10 cm du bouchon c'est dans la partie chauffée qui précéde le métal que se vaporise régulièrement, dans le courant d'hydrogène, le liquide amené par le tube capillaire. Il faut veiller à ce qu'il ne vienne pas baigner[2] le métal qu'il pourrait plus ou moins altérer par son contact.

Le même dispositif du tube capillaire peut être employé pour les substances solides à la température ordinaire, mais fusibles au-

[1] soit qu'il affleure = or by being level with

[2] il faut veiller à ce qu'il ne vienne pas baigner = one must take care that it does not come and soak

dessous de 100°. Il suffit de placer toute la partie antérieure du tube laboratoire, y compris le tube capillaire avec le tube vertical distributeur, dans une sorte de bain d'air cylindrique métallique, dont le fond peut être chauffé par un bec de Bunsen Le courant d'air chaud qui circule ainsi autour des tubes et du bouchon suffit pour maintenir la substance à l'état liquide Ce procédé s'applique très bien au phénol, aux crésols, à la nitronaphtaline et à la naphtaline elle-même.

Dans le cas où la matière solide n'est fusible qu'à une température supérieure à 100°, nous la disposons dans de longues nacelles de porcelaine[1] placées dans la partie antérieure du tube en avant du métal réduit la volatilisation de la substance est alors obtenue par une chauffe directe très ménagée et poursuivie de proche en proche[2] à partir du métal chauffé La réaction est dans ce cas nécessairement intermittente et bornée à la dose de matière que contiennent les nacelles

4° *Dispositif Pour Recueillir les Produits de l'Hydrogénation* —Les produits issus de l'hydrogénation peuvent être gazeux, liquides ou solides S'il y a production exclusive de gaz, ceux-ci sont recueillis à la sortie du tube laboratoire dans une cuve à eau, que l'on a soin en certains cas de saturer de sel marin, pour diminuer la proportion des gaz dissous On mesure généralement à l'aide d'un chronomètre la vitesse avec laquelle les gaz se dégagent dans une éprouvette graduée Cette vitesse, comparée à la vitesse initiale de l'hydrogène, fournit habituellement un élément précieux pour la connaissance exacte de la réaction effectuée

Si les produits de l'hydrogénation sont liquides en totalité ou en partie, le tube abducteur qui sort du tube à métal est mis en communication avec un appareil à condensation Dans la plupart des cas, celui-ci consiste en un tube en U vertical, muni à sa partie inférieure d'une tubulure qui s'engage dans un flacon où devra s'accumuler le liquide condensé· le tube en U est disposé au centre d'une cloche tubulée,[3] qui reçoit selon le cas de l'eau

[1] nacelle de porcelaine = porcelain boat

[2] poursuivie de proche en proche = extended gradually.

[3] cloche tubulée = bell jar with an opening.

froide, de la glace, ou un mélange de glace et de sel marin Les gaz qui sortent de la deuxième branche du tube sont recueillis sur l'eau, où l'on peut évaluer leur vitesse

Si, parmi les produits qui prennent naissance, il existe des corps solides à la température ordinaire, ceux-ci doivent être condensés dans la portion postérieure du tube, maintenue froide, au delà du métal catalyseur Le tube doit être alors très long, de manière à dépasser beaucoup la dimension de la grille, et il faut le maintenir incliné, pour que les liquides condensés dans la partie froide du tube ne reviennent pas vers le métal

*Analyses des Gaz* —Les analyses très nombreuses des mélanges gazeux que nous avons été amenés à faire au cours de ces travaux, ont été conduites selon les méthodes indiquées par M. Berthelot Les mesures et transvasements de gaz étaient généralement effectuées sur la cuve à mercure profonde de Doyère à l'aide de pipettes à boule mobile et à robinets, dites pipettes de Salet L'application des divers réactifs absorbants se faisait par absorption du gaz à l'intérieur des pipettes, dont chacune était spécialisée pour un réactif déterminé Seul le dosage total des carbures éthyléniques était pratiqué par le brome sur la cuve à eau, selon la marche recommandée par M Berthelot

Les réactifs absorbants employés étaient:

Pour l'anhydride carbonique, la potasse,

Pour l'oxyde de carbone, la solution chlorhydrique de chlorure cuivreux,

Pour l'acétylène, la solution ammoniacale de chlorure cuivreux,

Pour les carbures éthyléniques autres que l'éthylène, ainsi que pour les vapeurs d'alcool ou d'eau, l'acide sulfurique concentré,

Pour les carbures forméniques supérieurs[1], l'alcool absolu bouilli,

Pour l'oxygène (contrôle des combustions eudiométriques), le pyrogallate de potassium.

Les combustions eudiométriques par étincelle ont été réalisées dans l'eudiomètre de M Riban.

[1] carbures forméniques supérieurs = higher paraffine hydrocarbons

*Durée de l'Activité du Métal Catalyseur*—L'action des métaux divisés issus de la réduction de leurs oxydes est comparable dans une certaine mesure à celle des ferments vivants Comme pour ces derniers, elle comporte trois phases, une période initiale où le catalyseur s'habitue à sa fonction, une période de fonctionnement normal, enfin une période de déclin aboutissant à la mort du ferment

La première période est un état variable qui est généralement de courte durée elle correspond sans doute à la modification superficielle que subit le métal, lorsque, à l'atmosphère d'hydrogène pur qui l'entourait, on substitute celle des vapeurs de substance transformable mélangées ou non d'hydrogène

La seconde période, fonctionnement normal, est généralement très longue et serait indéfinie s'il n'y avait dans le système réagissant aucune trace de matière capable d'altérer en quelque manière la surface du métal Dans la pratique, avec de l'hydrogène bien purifié, l'hydrogénation de substances pures très volatiles a pu être réalisée pendant un temps extrêmement long par le même nickel réduit, sans aucune fatigue appréciable Ainsi le même tube à nickel a pu, pendant plus d'un mois, réaliser la transformation du benzène en cyclohexane, l'opération étant interrompue chaque soir, reprise le lendemain matin, la légère oxydation, qu'avait subie le métal pendant le repos de la nuit dans le tube refroidi, n'avait aucun inconvénient, parce que l'oxyde était de nouveau réduit par l'hydrogène à la température de 180° où la réaction était poursuivie

Un même nickel a pu pendant plusieurs semaines effectuer la transformation du phénol en cyclohexanol, à 200°

La fonction du métal catalyseur peut, au contraire, être très rapidement diminuée et même supprimée complètement, s'il y a dans l'hydrogène ou dans la substance traitée des traces de certaines matières, qui constituent de véritables poisons pour ce ferment minéral Le chlore, surtout le brome et l'iode, le soufre, même à doses excessivement minimes, paralysent toute action du nickel réduit.

Le nickel obtenu par la réduction d'oxydes qui contiennent un peu de chlore, est à peu près dépourvu d'activité catalytique. Il

en est de même du nickel préparé à partir d'un oxyde souillé[1] d'un peu de sulfure la présence dans l'hydrogène de faibles traces d'acide chlorhydrique, d'hydrogène sulfuré ou sélénié, produit les mêmes effets désastreux et amène très rapidement l'inactivité catalytique du nickel

Des traces de brome dans le phénol soumis à l'hydrogénation ont paralysé très rapidement l'aptitude catalytique du nickel réduit, qui n'a donné aucune formation de cyclohexanol Il en est de même des traces de produits thiophéniques dans le benzène ou le toluène

Le cuivre réduit est un agent catalyseur beaucoup moins actif que le nickel, mais il est bien moins sensible aux influences toxiques qui agissent si violemment sur ce dernier métal

Pratiquement, après une période d'activité plus ou moins longue, on trouve que le ferment minéral s'affaiblit il vieillit, et ce vieillissement est indiqué par une diminution dans la proportion de matière transformée La cause de cet affaiblissement, comparable au moins, en apparence, au vieillissement des ferments organisés, est certainement l'altération légère et progressive subie par la surface des grains du métal catalyseur; soit que des traces de chlore, de brome, d'iode, de soufre apportées par l'hydrogène ou par les substances mises en réaction, aient été fixées sur le métal qui arrive ainsi à perdre toute activité, soit plutôt que, sous l'action prolongée de la matière organique transformée, le métal ait subi une carburation progressive, qui, à partir d'une certaine limite, atténue sa puissance catalytique, soit enfin, qu'un léger dépôt de substance charbonneuse ou goudronneuse se soit produit peu à peu sur la surface de chaque grain rendant de plus en plus difficile le contact nécessaire entre le métal et les gaz dont il doit déterminer la transformation

Quand on dissout dans l'acide chlorhydrique dilué le nickel fatigué, on constate toujours, en même temps que la mise en liberté de gaz fétides riches en hydrocarbures, le dépôt d'une certaine dose de matières brunes charbonneuses.

De même, le cuivre réduit qui a servi pendant plusieurs semaines à provoquer la transformation du nitrobenzène en aniline

[1] souillé = contaminated.

par hydrogénation directe, retient une assez forte proportion de produits goudronneux, dont l'accumulation affaiblit sa puissance catalytique.

On conçoit qu'un affaiblissement analogue ait lieu, lorsque la réaction provoquée par le métal donne naissance à une substance peu ou point volatile à la température du tube, qui, par suite, imprègne plus ou moins vite la surface du métal actif et l'empêche d'accomplir son action régulière C'est ce qui a lieu dans l'hydrogénation de l'aniline en présence du nickel à 190°, la réaction donnant lieu, en même temps qu'à la cyclohexylamine bouillant à 134°, à deux autres amines peu volatiles, la dicyclohexylamine et la cyclohexylaniline qui, ne bouillant qu'au-dessus de 250°, sont difficilement entraînées par l'excès d'hydrogène et demeurent en partie à l'état liquide au contact du nickel

Pour éviter les effets de cette nature, il faut veiller avec soin à ce que dans les diverses réactions que l'on opère, le métal ne soit jamais mouillé par un afflux eccessif du liquide que l'on traite, ou à la suite d'un abaissement accidentel de la température du tube. Dans la préparation du cyclohexanol et de ses homologues, à partir du phénol ou des crésols, préparation réalisée à température peu supérieure aux points d'ébullition de ces derniers corps, il arrive parfois que le nickel est mouillé, et aussitôt il est devenu à peu près inactif, parce que la surface du métal est sans doute modifiée d'une façon permanente au contact du crésol ou du phénol liquides

*Choix de la Température de Réactions*—L'action catalytique des divers métaux divisés doit être habituellement exercée dans des limites définies de température, variables selon chaque réaction et selon la nature du métal Pratiquement, une limite inférieure de la température du métal se trouve imposée par la nécessité de maintenir à l'état de vapeur dans le tube à réactions les produits à transformer ainsi que ceux qui résultent de leur transformation.

Dans une certaine limite, l'accroissement de la température a l'avantage d'accélérer la réaction et, par suite, d'augmenter la proportion de matière transformée pendant la traversée du tube. Mais au delà d'une certaine valeur, parfois assez rapprochée de

la température où commence la réaction, il y a fréquemment une modification profonde du phénomène

Particulièrement dans les réactions d'hydrogénation réalisées avec le nickel, une température trop élevée conduit à la prédominance de l'action catalytique propre que le métal seul exerce sur les produits de la réaction, et cette dernière action est souvent destructive ou inverse de la réaction d'hydrogénation que l'on veut accomplir Ainsi, la fixation d'hydrogène sur le benzène en présence du nickel réduit a lieu facilement quand ce métal est maintenu entre 70° et 240° Mais, si l'on éléve sa température vers 300°, le cyclohexane formé est dédoublé avec régénération de benzène et de méthane selon la formule



$$3\ C_6H_{12} = 2\ C_6H_6 + 6\ CH_4$$

La réaction de l'hydrogène sur le benzène à 300° se borne donc à une production de méthane

Il est donc absolument nécessaire d'opérer à des températures bien déterminées · mais l'intervalle de températures dont on dispose pour effectuer la réaction utile est généralement assez étendu pour que celle-ci puisse être facilement conduite dans un tube chauffé directement sur une grille à combustions comme il a été dit antérieurement

D'une façon générale, les réactions qui peuvent être accomplies indifféremment par les divers métaux réduits ne sont provoquées par le cuivre qu'à une température plus haute que par le nickel pour le cobalt, les températures sont intermédiaires

*Explication de l'Activité Catalytique des Métaux Divisés* — Les actions que peuvent provoquer par catalyse les métaux divisés sont très nombreuses et de nature variée Il serait sans doute téméraire de les attribuer à une cause unique Sans doute, plusieurs d'entre elles se rattachent à des mécanismes distincts, mais, dans chacun d'eux, l'énorme surface du métal actif doit intervenir nécessairement L'activité est, en effet, en relation intime avec l'importance de cette surface, qui est immense dans le cas des métaux réduits, surtout quand ils ont été préparés par réduction à température peu élevée d'oxydes légers. Avec les métaux en limailles ou les métaux réduits compacts obtenus au rouge, les phénomènes de catalyses sont très peu importants

Nous pensons que toutes ces actions peuvent s'expliquer par la production de composés intermédiaires instables formés sur la surface des métaux.

Ainsi, les hydrogénations sont faciles à interpréter par la formation d'un hydrure de nickel, de cobalt, de cuivre ou de platine, lequel, aussitôt engendré, réagit sur la matière volatile qui se trouve à son contact Le métal régénéré s'unit de nouveau à l'hydrogène, l'hydrure recommence son action et la fixation d'hydrogène se poursuit ainsi indéfiniment si l'on continue à faire arriver sur le métal de l'hydrogène et de la matière hydrogénable On conçoit, dès lors, que les divers hydrures aient des aptitudes inégales et que certaines réactions soient l'apanage exclusif de quelques-uns d'entre eux On s'explique ainsi pourquoi le platine et le cuivre, qui hydrogènent bien les carbures acétyléniques ou éthyléniques, sont incapables de fixer l'hydrogène sur le noyau aromatique, tandis que le nickel effectue aisément cette dernière fixation. Une théorie, basée sur une simple condensation physique, ne pourrait, en aucune manière, rendre compte de ces différences

Les enlèvements d'hydrogène, tels que le dédoublement des alcools primaires ou secondaires en aldéhydes ou acétones, peuvent être expliqués par la même formation d'hydrures métalliques, engendrés aux dépens des alcools et détruits aussitôt avec régénération du métal et élimination d'hydrogène libre La réaction inverse de l'hydrogène sur l'aldéhyde ou sur l'acétone formée doit nécessairement avoir lieu en même temps dans une certaine mesure, mais elle est peu importante dans ce cas, parce que les vapeurs d'alcool sont en excès par rapport à l'hydrogène

Il y aurait certainement un grand intérêt à étudier quantitativement les conditions d'équilibre d'un tel système· on en déduirait peut-être des indications précieuses sur la nature intime de ces phénomènes si curieux

C'est peut-être à des formations temporaires d'acétylénures instables qu'il convient de rapporter les réactions de destruction violente ou de condensation moléculaire auxquelles donne lieu l'action des divers métaux réduits sur l'acétylène.

De même, la production de nickel carbonyle ou de cobalt car-

bonyle, instables dans les conditions expérimentales où l'on opère, semble intervenir dans les réactions où les oxydes de carbone existent à côté du nickel ou du cobalt réduits.

## L'ALCOOLYSE DES CORPS GRAS

PAR A HALLER,

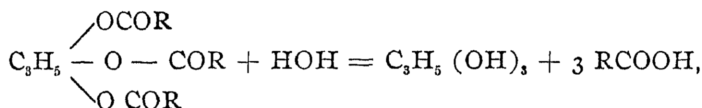
Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences Vol 143, page 657

On sait combien l'eau faiblement acidulée par les acides chlorhydrique, bromhydrique, phénylsulfonique, sulfurique, etc , favorise l'hydrolyse des corps gras en glycérine et acides gras

La saponification sulfurique est d'ailleurs largement employée dans l'industrie de la stéarine pour la préparation de la matière première destinée à la fabrication des bougies stéariques

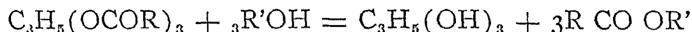
Les recherches qui font l'object de cette note ont pour but de montrer que, si l'on substitue au milieu eau acidulée, un milieu alcoolique renfermant également de petites quantités d'acides, il se produit un dédoublement analogue à celui que provoque l'eau acidulée à haute température, avec cette différence, toutefois, que l'un des produits de la saponification se fixe au restant alcool pour donner naissance à un éther-sel Il y a, en un mot, alcoolyse

Si l'hydrolyse des corps gras peut se représenter par l'équation



$$C_3H_5\begin{cases} OCOR \\ O - COR \\ O\ COR \end{cases} + HOH = C_3H_5\ (OH)_3 + 3\ RCOOH,$$

l'alcoolyse se traduira par



$$C_3H_5(OCOR)_3 + {}_3R'OH = C_3H_5(OH)_3 + 3R\ CO\ OR'$$

Tous les corps gras, quelles que soient leur constitution et leur consistence, subissent, avec plus on moins de facilité, cette transformation en glycérine et éthers-sels

Nous avons opéré sur les matières suivantes

1. Huiles ou matières grasses ne renfermant, à côté d'oléine, que des glycérides à acides gras saturés (beurre de coco, de cacao, margarine, suif, etc.) ,

2 Huiles siccatives (lin, pavots, bancoulier, etc ),

3 Huiles contenant des glycerides à oxyacides (ricin)

Avec la plupart de ces corps gras nous n'avons opéré le dédoublement qu'avec de l'alcool méthylique absolu, les éthers-sels de cet alcool ayant un point d'ébullition moins élevé que celui des éthers des alcools homologues supérieurs. De plus, les myristate, palmitate, stéarate et arachate de méthyle sont solides, alors que les éthers composés des alcools éthylique et homologues sont liquides

Nous avons employé comme acide catalyseur l'acide chlorhydrique,, mais avons constaté que l'acide phénylsulfonique favorisait également l'alcoolyse

Le mode opératoire adopté pour les matières grasses riches en acides à poids moléculaires peu élevés ou pour les huiles contenant des glycérides à oxyacides, a été le suivant

Dans un ballon muni d'un réfrigérant ascendant on introduit 100 g du corps gras préalablement privé d'eau, soit par filtration à chaud, soit par dissolution dans le benzène ou l'éther de pétrole avec distillation subséquente du solvant, et on y ajoute environ le poids double de son poids d'alcool méthylique absolu contenant de 1 à 2 pour cent d'acide chlorhydrique sec On chauffe ensuite le mélange au bain-marie jusqu'à ce qu'il soit homogène Il peut se faire que malgré la durée de l'ébullition, cette homogénéité ne puisse être atteinte, il convient alors de décanter la partie supérieure du liquide, d'ajouter au corps gras restant une nouvelle quantité d'alcool chlorhydrique et de chauffer au bain-marie jusqu'à dissolution complète

Les liqueurs éthéro-alcooliques ainsi obtenues sont versées dans l'eau, ou mieux dans l'eau salée, qui dissout la glycérine et l'excès d'alcool, tandis que les éthers-sels surnagent et peuvent être décantés

Il arrive cependant souvent que la masse, versée dans l'eau, s'émulsionne, par suite de la cristallisation des palmitate et stéarate de méthyle Dans ce cas, on traite le tout par de l'éther et l'on soutire la solution aqueuse.

La liqueur éthérée, après avoir été lavée avec une solution de carbonate de soude, est séchée et distillée, au bain-marie d'abord pour chasser l'éther, puis à feu nu ou au bain d'huile

Quand le corps gras contient les glycérides des acides butyrique, caproique et caprylique, ou peut opérer la rectification à la pression ordinaire jusqu'à élimination complète des éthers de ces acides, mais, à partir de la température de 194°, qui est celle du point d'ébullition du caprylate de méthyle, il est nécessaire de continuer la distillation sous pression réduite

Qu'on opère à la pression ordinaire ou dans le vide partiel on recueille les portions qui passent de 5° en 5°, et on les soumet ensuite à de nouvelles rectifications, jusqu'à ce qu'on obtienne des produits à point d'ébullition constant

Cette manière de faire donne de bons résultats avec tous les termes pairs de la série des acides $CnH_2nO_2$ jusqu'au douzième, c'est-à-dire jusqu'à l'acide laurique inclusivement, mais ne permet pas de séparer complètement les éthers méthyliques des acides myristique, palmitique et stéarique, ces composés étant toujours imprégnés d'oléate de méthyle, liquide à la température ordinaire

Pour opérer la séparation de ces éthers d'avec l'oléate, on soumet les différentes fractions qui les contiennent à un fort refroidissement dans la glace, et l'on essore les cristaux à la trompe Quand la quantité d'éther oléique n'est pas trop considérable, on peut aussi étaler le produit solide sur les plaques poreuses, préalablement refroidies à 0°, et qu'on maintient à cette température dans une glacière Les divers résidus cristallins restant sur les assiettes sont généralement contitués par du myristate, du palmitate et du stéarate de méthyle presque purs, il suffit de les faire cristalliser dans l'alcool méthylique absolu pour qu'ils montrent le point de fusion des éthers purs.

Pour extraire le liquide absorbé par les assiettes poreuses, on concasse ces dernières en petits fragments et les épuise à plusieurs reprises avec de l'éther Les résidus des différentes solutions éthérées sont distillés séparément et soumis une seconde fois à un refroidissement à 0° ou au-dessous. Les cristaux, s'il y en a, sont de nouveau étalés sur des assiettes poreuses, et le liquide qu'ils abandonnent ainsi est encore récupéré au moyen de l'éther.

S'il s'agit d'huiles non siccatives, ce liquide est généralement constitué par de l'oléate de méthyle plus ou moins souillé de petites quantités de palmitate et de stéarate. Nous n'avons jamais réussi à obtenir un éther renfermant plus de 95 à 96 pour 100 d'oléate de méthyle

Comme nous l'avons déjà fait observer, la vitesse de saponification et d'éthérification subséquente varie dans une large mesure avec la nature du corps gras Très rapide, et pour ainsi totale, avec le double de leur poids d'alcool méthylique, quand il s'agit de glycérides comme ceux contenus dans le beurre ordinaire, le beurre de coco et l'huile de ricin, elle nécessite parfois plusieurs traitements jusqu'à l'alcoolyse complète

Cette observation s'applique aux matières grasses très riches en glycérides à poids moléculaires élevés et principalement aux huiles siccatives

Avec ces dernières, le traitement répété avec l'alcool acide présente encore l'inconvénient d'exposer la matière grasse à une oxydation et à une polymérisation, de sorte qu'il devient très difficile d'opérer l'alcoolyse de la totalité du produit, à moins d'employer un grand excès d'alcool

Pour éviter ces inconvénients, nous provoquons la réaction au sein d'un dissolvant neutre Le corps gras est dissous dans l'éther, dans le benzène ou le tétrachlorure de carbone et additionné de l'alcool acidulé avec lequel on veut produire l'alcoolyse Quand l'opération est terminée, on lave la masse avec de l'eau alcalinisée, on dessèche, on distille le dissolvant et l'on fractionne les éthers obtenus

En résumé nos recherches montrent

1 Que tous les glycérides peuvent subir l'alcoolyse et que ceux à poids moléculaires peu élevés se dédoublent plus facilement que les glycérides supérieurs;

2 Que les corps gras solubles dans l'alcool (ricin) s'alcoolysent plus facilement que ceux qui sont insolubles;

3 Que l'alcoolyse est facilitée quand on l'opère au sein d'un dissolvant du corps gras;

4 Que la transformation des matières grasses en glycérine et éthers-sels constituent un moyen très pratique pour la préparation

d'un certain nombre de ces éthers, et aussi une nouvelle méthode d'analyse qualitative de ces matières,

5 Que l'opération de l'alcoolyse, se faisant à une température relativement basse et en présence de peu d'acide, permet de respecter les corps qui, contenus en très petites quantités dans les produits naturels, leur donnent le parfum, le goût de terroir caractéristique·

*Interprétation des réactions* —Comme dans le cas de l'hydrolyse des éthers-sels ordinaires, des glycérides, des bioses et polyoses, des glucosides, etc, les acides chlorhydrique, bromhydrique, phénylsulfonique, etc. se comportent, au sein des alcools, vis-à-vis des mêmes combinaisons, comme des agents catalyseurs Ils déterminent l'alcoolyse

A l'égard des corps gras, cette action catalysante est plus profonde et plus nette que celle qu'opèrent les alcoolates de sodium ou les solutions alcooliques de potasse ou de soude.

On sait en effet depuis longtemps par les travaux de Duffy, Bouis, Allen, Henriques, etc, que les glycérides et divers autres éthers-sels donnent naissance à des éthers d'alcools monoatomiques, quand on les traite par des alcools sodés ou des lessives alcooliques.

Claissen, Bull, Obermiller, etc, ont donné des interprétations variées du phénomène

Nous pourrions indiquer les mêmes théories admises par ces divers auteurs, s'il ne venait pas à l'esprit une objection que nous croyons devoir signaler

Bien qu'opérant avec des alcools absolus, nous ne savons pas si, à un moment donné, il n'existe pas dans le milieu, une petite quantité d'eau (provenant par exemple de l'action de l'acide catalyseur sur l'alcool), eau qui hydrolyse ensuite les corps gras avec mise en liberté de glycérine et acide, ce dernier se trouvant dans les conditions ordinaires pour être transformé en éther-sel

Nous nous proposons de donner ultérieurement les résultats obtenus avec différentes catégories de corps gras, et aussi d'étudier l'alcoolyse d'autres composés, notamment ceux qui en présence de l'eau acidulée subissent l'hydrolyse

# LES CATALYSEURS BIOCHIMIQUES DANS LA VIE ET DANS L'INDUSTRIE

PAR JEAN EFFRONT,

Professeur à l'université Nouvelle et Directeur de l'Institut des Fermentations de Bruxelles

*Action de la Lumière sur les Matières Albuminoïdes.*—Une solution de peptone stérilisée subit des transformations très profondes quand on l'expose, à la température ordinaire, à l'action de la lumière. Les produits biurétiques disparaissent graduellement, il se forme d'abord des acides amines, qui se décomposent ensuite en ammoniaque et en acides volatils, et ces corps, à leur tour, s'oxydent lentement, pour former, finalement, des nitrates et de l'acide carbonique. Ce phénomène se résume donc en une minéralisation de la substance azotée la plus complexe, celle de la matière albuminoïde, on est en présence d'une désagrégation analogue à celle qui se fait dans la nature quand on abandonne à elle-même une protéine quelconque. sous l'action des nombreux microorganismes de la putréfaction, la substance se solubilise, se décompose, se transforme en corps de plus en plus simples, dont les formes ultimes sont le $CO_2$, l'$H_2O$, le $NH_3$, et l'N.

Quelle est la cause initiale de ce phénomène? Si l'on remarque que la solution de peptone se conserve intacte quand on la protège de l'action de la lumière, on est tout de suite conduit à rapporter les transformations constatées, à l'influence photochimique des rayons solaires et à classer ces réactions dans le même groupe que celles étudiées par D. Berthelot, et qui sont directement provoquées par l'action des rayons ultra-violets.

Cependant, en étudiant de plus près[1] le mécanisme de la dégradation de la peptone, on constate que le travail produit, tout en étant dû à l'action de la lumière, n'en est pas un effet immédiat, et qu'il intervient encore un autre facteur très important. En effet, la solution d'albuminoïde exposée au soleil donne une réaction positive avec l'amidon iodure[2] additionné de sulfate ferreux, ce qui révèle la présence d'eau oxygénée. L'intensité de la

[1] de plus près = more closely.
[2] l'amidon ioduré = starch iodide solution.

réaction est d'ailleurs soumise à de grandes variations: à certains moments, elle est très forte, à d'autres, elle disparaît, pour réapparaître ensuite. Il y a donc dans le liquide formation et destruction successives de peroxyde d'hydrogène: la présence de ce corps peu stable, capable d'agir à la fois comme réducteur et oxydant, laisse supposer que c'est lui qui intervient directement dans l'hydrolyse des albuminoides, la lumière ne servant qu'à assurer sa formation.

En fait, l'expérience confirme pleinement cette manière de voir, les solutions de peptone additionnées de $H_2O_2$ se comportant dans l'obscurité de la même façon que les solutions sans $H_2O_2$ exposées à la lumière L'hydrolyse s'amorce,[1] dans le premier cas, encore plus facilement que dans le second, et les produits en résultant sont identiques dans les deux essais Ces données nous amènent ainsi à cette conclusion, que l'autolyse de la peptone en présence de lumière est provoquée par l'eau oxygénée formée sous l'influence photochimique, synthèse qu'on sait pouvoir se produire dans ces conditions

Mais poussons plus loin, et demandons-nous par quelle voie le peroxyde d'hydrogène agit sur les substances albuminoides Nous verrons que tout le travail produit dans la solution de peptone au cours de sa dégradation, jusqu'au stade le plus éloigné, réside dans une hydratation La molécule albuminoidique, par fixation d'eau, se dédouble en produits moins complexes, qui eux-mêmes, par hydrolyse, se fragmentent de plus en plus, pour donner finalement des acides amines simples, puis des acides volatils et de l'ammoniaque

La première idée qui se présente alors à l'esprit est que $H_2O_2$, en se décomposant, fournit une molécule d'eau à l'état naissant, douée par conséquent d'une activité spéciale, et que c'est cette eau engendrée qui produit l'hydrolyse. Cette hypothèse exige, comme nous le verrons dans un chapitre suivant, pour la transformation complète de 100 grammes d'albumine jusqu'au terme ammoniaque, l'intervention de 38 grammes d'eau, c'est-à-dire de 71 grammes $H_2O_2$. On constate bien, il est vrai, dans le liquide soumis à

[1] s'amorce = starts

l'autolyse, un dégagement d'oxygène, preuve d'une décomposition de $H_2O_2$: c'est même pour cette raison qu'au cours du travail de désagrégation, quand on opère à l'abri de la lumière, il est nécessaire d'ajouter $H_2O_2$ par fraction, et non tout d'un coup. Mais la quantité d'eau fixée pendant l'hydrolyse est toujours considérablement supérieure à la quantité de perhydrol employée dans la réaction Dans les essais conduits avec soin, on observe souvent un rapport de 8 à 1, c'est-à-dire qu'il se fixe huit fois plus d'eau que celle que $H_2O_2$ a pu fournir

Ces faits ne justifient donc aucunement l'hypothèse précédente. Celle-ci est d'autant moins probable, qu'avec une dose donnée d'$H_2O_2$, quantité minime qui se conserve dans le liquide pendant un certain temps, on peut provoquer une hydrolyse très marquée, et qu'il n'y a aucune relation directe entre cette quantité d'$H_2O_2$ employée et le travail produit On constate ainsi une grande disproportion entre la cause et l'effet, effet qui n'est d'ailleurs pas instantané, mais augmente avec la durée de l'action En définitive, l'eau oxygénée agit non pas par la molécule d'eau qu'elle peut apporter, mais par sa seule présence

## Catalyseurs Biochimiques.

Les transformations que la lumière fait subir aux matières albuminoides, transformations dont nous avons étudié précédemment le mécanisme, présentent un intérêt tout particulier, au point de vue du chimisme de la cellule vivante En effet, les matières azotées de réserve, ainsi que la substance protoplasmique elle-même, se consomment dans l'organisme en subissant toute une série de transformations, dues à des hydrolyses successives, qui les conduisent aux mêmes produits finaux que ceux qui résultent de l'action de la lumière sur l'albumine. L'analogie entre les deux phénomènes est d'autant plus frappante, qu'elle ne porte pas seulement sur l'identité du travail produit, mais aussi sur les forces mises en jeu pour l'accomplir. Dans le cas de la minéralisation des matières albuminoides en présence du soleil, nous voyons apparaître, sous l'action photochimique, un catalyseur qui provoque la réaction et la dirige dans un sens déterminé. Dans les cellules vivantes, ce sont encore des facteurs de même nature qui

interviennent. Sous l'influence des conditions physiques et chimiques du milieu, il se produit, pendant la vie, des catalyseurs biochimiques qui règlent la plupart des réactions cellulaires. Ces corps actifs sont connus sous le nom de diastases. On peut les envisager comme des produits intermédiaires entre la matière vivante et la matière animale. Ce sont des substances organiques à l'état colloidal; on ne connait ni leur composition ni leur structure chimique, mais le mécanisme de leur action, leurs caractères généraux et leurs propriétés individuelles sont suffisamment établis pour ne laisser aucun doute sur leur existence

A l'heure actuelle on possède des données certaines sur un nombre considérable de catalyseurs biochimiques fournissant un travail bien caractérisé Ces agents agissent, les uns comme oxydants, d'autres comme réducteurs, la plupart comme hydratants. Les catalyseurs biochimiques étant essentiellement spécifiques, ils s'adressent à des corps d'une structure chimique et d'une configuration bien déterminées.

Voici quelles sont les propriétés essentielles et caractéristiques des enzymes

1. Les enzymes, tout en provoquant une réaction, ne se trouvent point dans les produits résultant de cette réaction. la conséquence de ce fait, c'est qu'avec une quantité minime de diastase on peut réaliser un travail illimité.

2 Les enzymes sont solubles dans l'eau et la glycérine, et sont rendus inactifs quand on porte leurs solutions à une température voisine de 100°.

3 Ces corps se laissent précipiter de leurs solutions, soit par l'alcool, soit par des sels, tels que le sulfate d'ammoniaque ou le sulfate de zinc.

4 Ils se fixent facilement sur la fibrine, la soie, l'élastine, et sont entraînés par différents précipités

5. Ils sont très sensibles aux conditions physiques et chimiques du milieu.

Beaucoup de ces propriétés rappellent celles des ferments figurés. Les enzymes s'en distinguent cependant, d'abord en ce qu'ils peuvent filtrer, quoique incomplètement, à travers une bou-

gie poreuse, et ensuite parce qu'ils présentent une certaine résistance vis-à-vis des antiseptiques

6. Il a été parfaitement démontré que quelques diastases sont capables d'exercer une réaction reversible, et il y a tout lieu de penser que toutes sont capables d'agir ainsi lorsque les conditions le leur permettent.

Ces propriétés très curieuses ont été retrouvées chez les catalyseurs minéraux, surtout chez les métaux, à l'état colloidal, étudiés par Bredig. Cet auteur prépare le platine colloidal de la façon suivante on fait jaillir une étincelle électrique, produite par un courant de 8 à 12 ampères sous 30 à 40 volts, dans de l'eau pure, entre deux fils de platine. Sous cette action, le métal se désagrège et le liquide prend une coloration jaune, puis brune: il filtre bien, au microscope, on ne distingue point de particules insolubles; le platine semble donc s'être dissous Cependant il n'en est pas ainsi, car le liquide ne présente aucune des propriétés physiques des solutions (abaissement du point de congélation, existence d'une pression osmotique, etc ). La matière est simplement dans un état d'extrême division, les particules formées ayant une grosseur évaluée seulement à quelques cent millièmes de millimètre (0,00001 mm ). On a préparé de même des pseudo-solutions d'or, d'argent, de cadmium, d'iridium, etc

On constate que le platine, ainsi amené à l'état colloidal, à raison de[1] 1 gr pour 300000 litres d'eau, possède les propriétés d'une véritable diastase, celle d'une oxydase Il décompose $H_2O_2$, rougit l'aloine, bleuit le guaiac Il présente une température optima Son action est activée par une trace d'alcali, puis diminuée Certains poisons, comme l'acide cyanhydrique, la ralentissent. Ces propriétés sont identiques à celles des diastases les unes et les autres se comportent comme des catalyseurs.

Au cours de la vie cellulaire, les différents catalyseurs biochimiques apparus se laissent influencer l'un par l'autre, soit par action directe, soit en raison des produits formés Le travail chimique produit dans la cellule est le résultat d'une action très complexe des catalyseurs, qui régularisent leur fonctionnement

[1] à raison de = at the rate of.

dans un sens favorable à la vie. Après la mort, les catalyseurs, restant intacts, continuent à agir et sont susceptibles de produire chacun le même effet que dans la cellule vivante, mais l'ensemble du travail n'est plus tout à fait le même, soit au point de vue quantitatif, soit même au point de vue qualitatif. L'équilibre entre les catalyseurs se trouve rompu : de nouvelles réactions entrent en jeu, et l'on observe un travail prédominant seulement dans une certaine direction. C'est ainsi qu'en abandonnant à lui-même un organe mort, en présence d'antiseptique, on détermine une autolyse aboutissant à la dissolution et à la désagrégation complète de cet organe. Au contraire, dans un organisme vivant, les catalyseurs à fonction synthétique, et aussi les anticorps, contre-balancent l'action destructice des catalyseurs de décomposition, et ce qu'on observe, est un equilibre dynamique résultant du jeu complexe de tous les enzymes.

## Mécanisme d'Action des Diastases

Demandons-nous maintenant de quelle façon agissent les diastases. Il est d'autant moins aisé de répondre à cette question, que la nature même de ces corps nous échappe. Déjà, avec les catalyseurs minéraux, dont la composition nous est connue, nous n'avons pu fournir une théorie générale de leur mode d'action. Ici, la réponse est encore plus difficile à donner.

Tout d'abord,[1] en ce qui concerne la nature même des catalyseurs biochimiques, les avis sont partagés. Les uns envisagent volontiers les diastases, non comme des corps matériels, mais comme une forme particulière de l'énergie, qui se fixerait sur certaines substances, notamment les albuminoides. Cette conception des enzymes-forces est plutôt en faveur chez les physiologistes, et semble être, jusqu'ici, plus une vue de l'esprit qu'une expression réelle des faits observés. Les autres au contraire, en plus grand nombre, et formés surtout de chimistes, se rallient à une conception plus positive. Pour eux, les diastases seraient des matières, sinon identiques, du moins voisines des albuminoides.

Quelle que soit d'ailleurs la nature même de ces corps, il est certain qu'il existe un rapport étroit entre les diastases et les

[1] tout d'abord = in the first place

albuminoides, rapport qui fait que les premières participent dans une large mesure des propriétés des secondes. En particulier, leur sensibilité à la chaleur, qui les détruit en les coagulant, leur changement d'état physique sous l'influence des acides, des bases ou des sels, qui les précipitent ou les redissolvent, et d'autres encore, sont bien là des propriétés qui résultent d'un caractère commun aux diastases et aux protéines, à savoir leur état colloidal.

On sait que, depuis quelques années, l'étude des colloides tient une grande place dans les préoccupations de la chimie physique Toute une école a abordé la question des diastases de ce point de vue spécial. Bien que d'assez nombreux travaux aient été publiés déjà, l'ensemble, pour intéressant qu'il soit,[1] n'a pas encore abouti à des conclusions bien nettes Nous rappellerons cependant quelques-uns des faits acquis

D'une façon générale, les particules colloides jouissent de propriétés spéciales, différant, jusqu'à un certain point, de celles des molécules chimiques étudiées sous les autres états Ces propriétés résultent de deux caractères propres aux colloides

En premier lieu on constate que les particules colloidales, en suspension dans un liquide, portent une charge électrique, ce fait peut être mis en évidence par l'orientation que prennent ces particules quand on fait passer un courant dans leur pseudo-solution Suivant que la substance colloide est chargée positivement ou négativement, elle se dirigera vers la cathode (cataphorèse) ou vers l'anode (anaphorèse) On peut d'ailleurs apprécier d'une autre façon le signe de la charge un colloide électropositif est précipité par un colloide instable électronégatif, comme une solution de sulfure d'arsenic colloidal, à 3 %, tandis qu'un colloide électronégatif est précipité par un colloide électropositif, comme une solution d'hydrate de fer colloidal, à 2 %. Ces charges expliquent la sensibilité des colloides vis-à-vis des électrolytes, qu'on sait se dissocier en ions lorsqu'ils sont à l'état dissous. Les acides agiront surtout sur les colloides électropositifs, les bases, sur les colloides électronégatifs Les sels agiront soit par leur ion acide, soit par leur ion basique. De plus, l'action précipitante variera avec la valence des ions agissants.

[1] pour intéressant qu'il soit = however interesting it may be.

Le second caractère tient à l'extrême petitesse des particules colloïdales. On sait qu'à la surface de tous les corps se trouve une couche de molécules qui, par raison de dissymétrie, sont soumises à des forces différentes de celles qui agissent sur les molécules situées à l'intérieur Or, ici, la couche superficielle prend une importance très grande par rapport à l'ensemble de l'édifice moléculaire. On constate en effet que l'épaisseur de la première est du même ordre de grandeur que le diamètre du second soit de 20 à 50 millionièmes de millimètre Mais il y a plus: autour de la particule colloïdale se trouve une couche d'absorption, formée par du liquide addhérent, qui constitue une sorte d'enveloppe isolant la substance colloïde du reste du milieu ambiant[1] La composition de la couche d'absorption n'est pas toujours la même que celle de la masse du liquide: il peut y avoir, en cette région, concentration des particules dissoutes, ou, au contraire, raréfaction, si bien que la matière considérée, protégée par cette double enveloppe—couche superficielle et couche d'absorption, ne réagira plus comme elle l'aurait fait si elle avait conservé son état normal.

En résumé, les propriétés spéciales à l'état colloïdal résultent

1. de l'électrification des particules, ce qui, dáns une certaine mesure, peut contrarier[2] les lois chimiques des combinaisons.

2 de l'extrême division de ces particules, ce qui donne une grande importance aux phénomènes de contact

Voici quelques conséquences de ce qui précède

La pepsine, comme, d'ailleurs, d'après Iscovesco, le suc gastrique dialysé, ne renfermant que des colloïdes électropositifs, se comportera dans l'expérience suivante. au fond d'un tube en U on verse de l'ovalbumine, qu'on coagule sur place, puis, pardessus, dans chaque branche, on met une solution de pepsine chlorhydrique. On fait passer un courant électrique de 0,3 à 0,6 voltcentim. et de 0,0001 à 0 0005 ampère, et l'on constate que, déjà au bout d'une heure, l'ovalbumine est attaquée du côté (+); cette attaque augmente et atteint le maximum au bout de huit à neuf heures, tandis qu'il n'y a rien du côté (—). Le courant

[1] milieu ambiant = surrounding medium

[2] contrarier = oppose.

pousse donc la pepsine, du côté positif, dans l'albumine, qui est en partie solubilisée et peptonisée, tandis que, de l'autre côté, la pepsine s'éloigne de l'albumine pour monter vers l'électrode négative

Par contre,[1] le suc pancréatique de secrétine du chien, préalablement dialysé, ne renferme que des colloides électronégatifs. Vient-on à mélanger du suc gastrique pur de chien avec du suc pancréatique pur ou dialysé, on constate la formation d'un précipité, qui, d'ailleurs, ne se serait pas produit si l'on avait remplacé le suc gastrique pur par du suc dialysé. C'est qu'en effet le colloide positif du suc gastrique a formé avec le colloide négatif du suc pancréatique un complexe soluble dans un milieu neutre, mais qui est insoluble dans un milieu très légèrement acidifié par HCl Dès lors on sera conduit à admettre que l'action paralysante du suc gastrique sur le suc pancréatique n'est pas due, comme on le dit généralement, à l'acidité du suc gastrique, mais bien, d'après ce qui précède, à la fixation des diastases pancréatiques négatives par les diastases positives du suc gastrique

Les partisans de la théorie physique ont cherché à expliquer un certain nombre des phénomènes biologiques que nous étudierons dans cet ouvrage Voici leur manière de voir en ce qui concerne les antiferments D'après eux, l'action neutralisante qu'exerce le serum de sang de chien, par exemple, sur le suc gastrique, ne serait pas due à une antipepsine contenue dans ce serum, mais tout simplement à une précipitation du colloide positif de la pepsine par un colloide négatif apporté par le sang, précipitation qui rendrait le ferment gastrique inactif, en le fixant dans un complexe insoluble

Il n'est point jusqu'aux[2] phénomènes de coagulation du sang ou du lait qui ne trouve une interprétation du point de vue de la chimie des colloides D'après Iscovesco, le sang renferme des serumalbumines · l'une (+), l'autre (—), et deux globulines: l'une (+), l'autre (—). Or, tandis que le plasma contient des globulines (+) et (—), le sérum ne contient que des globulines (+). La coagulation résulterait donc de la précipitation d'un

[1] par contre = on the contrary

[2] il n'est point jusqu'aux = even the.

complexe colloidal, formé par l'union de globulines (+) et (—), complexe qui ne serait autre que la fibrine. Cette coagulation serait due simplement à des agents physiques ou chimiques qui modifieraient ainsi les conditions électriques du milieu.

On voit par ces quelques exemples que ces considérations sont assez suggestives. Sans doute, les données sur lesquelles elles s'appuient sont encore trop incomplètes pour que les explications qu'elles fournissent soient tout à fait satisfaisantes. Mais elles n'en représentent pas moins une orientation nouvelle, donnée aux recherches de biochimie, et, à ce titre, elles méritaient d'être signalées ici.

Guidés par ces considérations générales, essayons, pour finir, de nous faire une idée de la nature et du mode d'action des substances spéciales que sont les diastases

Une diastase est toujours constituée par une matière protéique renfermant une plus ou moins grande quantité de matière minérale. En solution dans l'eau, elle se comporte comme un colloide albuminoide associé à un colloide minéral Ce dernier serait en quelque sorte la partie agissante du ferment. c'est, selon l'expression de Bertrand, le coferment Il aurait pour support le colloide albuminoide La spécificité de l'action, qui comporte évidemment une configuration appropriée du catalyseur correspondant, résulterait de la nature même du coferment Celui-ci agirait selon le mode des réactions intermédiaires Quant au colloide albuminoide, qui sert à protéger le coferment actif, il ne manquerait pas d'influencer, dans un sens ou dans un autre, les propriétés de l'ensemble, cela en vertu de son état spécial de colloide Mais il ne participerait pas à l'action chimique proprement dite on comprendrait mal, en effet, comment une molécule aussi grosse que l'albumine, douée, par suite, d'une certaine inertie, pût jouer un pareil rôle de facteur de transformation Les catalyseurs biochimiques diffèrent donc des catalyseurs purement minéraux par une complexité plus grande, il faut peut-être voir dans ce fait la raison d'une adaptation plus parfaite au travail qu'ils doivent produire et par conséquent l'explication d'une spécificité plus profonde En effet, tandis qu'à l'aide de l'eau oxygénée on amène

toutes les substances azotées dérivées des albuminoïdes, à l'état d'ammoniaque et d'acides volatils, les catalyseurs de la matière vivante ne peuvent pas faire tout ce travail à l'aide d'un seul agent: pour produire cette transformation intégrale, il faut le concours de toute une série de catalyseurs, dont chacun fait un travail strictement déterminé

Dans le présent ouvrage, nous allons étudier en détail cette hydrolyse progressive de la matière albuminoide, provoquée par des enzymes différents et aboutissant à la minéralisation complète de la molécule Mais, avant, il convient de dire comment on peut classer les différents enzymes qui fourniront les stades successifs de ce travail

## MÉTHODE UNIVERSELLE POUR LA DÉTERMINATION DES POIDS MOLÉCULAIRES

PAR M F M RAOULT,

Professeur de chimie à la Faculté des Sciences de Grenoble

*Annales de Chimie et de Physique,* Sixieme Série, Tome VIII, 1886

### I —GÉNÉRALITÉS

*I—Principe de la Méthode* —J'ai déjà donné, il y a quelques années, un moyen de calculer le poids moléculaire des composés organiques solubles dans l'eau, d'après l'abaissement du point de congélation qu'ils y déterminent De nouvelles études sur le même sujet m'ont permis de généraliser cette méthode, et je suis maintenant en mesure de déterminer le poids moléculaire d'un composé quelconque, aussi bien de matière minérale que de matière organique, pourvu seulement qu'il puisse être dissous dans un liquide capable de se solidifier à une température exactement mesurable

Si l'on divise l'abaissement du point de congélation C par le poids P de matière anhydre, dissoute dans 100 gr. de dissolvant, on obtient un quotient $\frac{C}{P}$ que j'ai appelé coefficient d'abaissement

brut de la substance dissoute. Quand le corps existe en dissolution à l'état anhydre, et que la loi de Blagden lui est applicable, ce quotient représente l'abaissement du point de congélation produit par 1 gr. de matière dans 100 gr. de dissolvant, et, si on le multiplie par le poids moléculaire M de la substance dissoute, supposée anhydre, on obtient l'abaissement que produirait une molécule de cette substance, si elle était elle-même dissoute dans 100 gr de dissolvant; c'est-à-dire qu'on obtient son abaissement moléculaire vrai T On a donc alors

$$(\alpha) \qquad T = \frac{C}{P} \times M.$$

Lorsque le corps n'existe pas en dissolution à l'état anhydre et qu'il n'obéit pas à la loi de Blagden, du moins en apparence, son abaissement moléculaire vrai est l'abaissement que produirait, dans 100 gr. de dissolvant, une molécule de ce corps, considéré dans l'état d'hydratation constant qu'il affecte[1] au sein des[2] dissolutions moyennement concentrées, et alors qu'il n'est ni décomposé ni condensé J'ai montré, dans le Mémoire qui précède que, pour obtenir correctement l'abaissement moléculaire vrai T, ainsi défini, il suffit de multiplier la valeur de $\frac{C}{P}$ à l'origine par le poids moléculaire M de la substance anhydre, et j'ai prouvé, à la fin du même mémoire, que, si l'on opère avec des dissolutions assez étendues pour que l'abaissement du point de congélation C soit voisin de 1°, on peut obtenir, par une seule expérience et en appliquant simplement la formule ($\alpha$) ci-dessus, une valeur suffisamment approchée de l'abaissement moléculaire vrai pour pouvoir lui être substituée sans inconvénient dans la plupart des applications

L'abaissement moléculaire vrai T, tel qu'on l'obtient par la formule ($\alpha$), en y introduisant la valeur de $\frac{C}{P}$ à l'origine, est une quantité variable d'un dissolvant à l'autre, mais qui, dans un même dissolvant, reste la même pour des groupes de composés nombreux

[1] qu'il affecte = which it assumes
[2] au sein de = in

et bien définis. Cette quantité T peut donc être considérée comme connue, au moins approximativement. D'autre part, le coefficient d'abaissement à l'origine $\frac{C}{P}$ est, dans chaque cas particulier, donné par l'une ou par l'autre des deux méthodes que je viens de rappeler Il résulte de là que la valeur approchée[1] du poids moléculaire M peut être calculée au moyen de la formule

$$(\beta) \qquad M = T \times \frac{P}{C}.$$

Quant à la valeur véritable du poids moléculaire, on l'obtient comme il suit · parmi les poids moléculaires possibles du composé considéré, on cherche quel est celui qui est le plus voisin de la valeur approchée donnée pour M par la formule $\beta$ et c'est celui-là qui est son poids moléculaire exact

2—*Dissolvants à Employer* —Tous les liquides capables de se solidifier à une température exactement mesurable peuvent, comme je l'ai dit, être employés comme dissolvants pour la détermination des poids moléculaires par cette méthode, il suffit pour cela d'y connaître la valeur de T pour divers corps analogues à celui qu'on examine, et c'est à quoi l'on arrive aisément par un petit nombre d'expériences. Mais il est évident que les liquides qu'il faut employer de préférence sont ceux qui sont d'un prix peu élevé et faciles à obtenir à l'état de pureté L'eau, l'acide acétique et la benzine, qui satisfont à ces conditions et pour lesquels les différentes valeurs de T sont connues d'après mes expériences, doivent être particulièrement recommandés L'acide acétique et la benzine du commerce sont rarement assez purs pour cet usage, et il est généralement nécessaire de les purifier par plusieurs congélations partielles On reconnait d'ailleurs facilement leur pureté au caractère suivant s'ils sont parfaitement purs, leur température reste constante depuis le commencement de leur congélation jusqu'à la fin; dans le cas contraire, la température baisse à mesure que la congélation fait des progrès Remarquons, en passant, que la méthode de congélation, si parfaite pour purifier les corps, est en même temps la meilleure pour constater leur pureté

[1] valeur approchée = approximate value.

Des expériences variées, faites sur plus de 250 composés chimiques de toute espèce (Ann de Chim et de Phys 6 série, t II et IV), m'ont donné pour T les valeurs suivantes, qu'il est bon de rappeler d'abord

3. *Valeurs de T Dans L'eau* —Dans l'eau employée comme dissolvant, les abaissements moléculaires T sont toujours voisins des nombres suivants·

T = 19 pour toutes les matières organiques (à l'exception des ammoniums et de l'acide oxalique);

T = 35 pour tous les sels des métaux monoatomiques à acides monobasiques ($HCl$, $NaOH$, $NaCl$, $NaC_2H_3O_2$, $NaAzO_3$,. ..),

T= 40 pour tous les sels neutres des métaux monoatomiques à acides bibasiques ($H_2SO_4$, $Am_2SO_4$, $K_2CO_3$, $K_2CrO_4$, .... .),

T = 45 pour les sels des métaux biatomiques à acides monobasiques forts ($CaCl_2$, $Cd(AzO_3)_2$. . ..);

T = 17 pour les sels des métaux à acides bibasiques forts ($MgSO_4$, $MgCrO_4$, .),

T = 130 pour les chlorures et les azotates des métaux hexatomiques ($Al_2Cl_6$, $Al_2(AzO_3)_6$, )

Il est évident que ces règles ne peuvent s'appliquer aux sels qui, comme les alcoolates, les phénates, etc, se décomposent dans l'eau

Rappelons, pour abréger, qu'en ce qui concerne les acides forts, les bases fortes et les sels fournis par un acide fort ou une base forte, les différentes valeurs de T peuvent être calculées en faisant la somme des abaissements moléculaires partiels du radical électropositif et du radical électronégatif.

D'après mes dernières déterminations, dont plusieurs sont rapportées dans le précédent Mémoire, les abaissements partiels de ces radicaux sont les suivants.

| | | |
|---|---|---|
| Radicaux électro-négatifs | monoatomiques ($Cl$, $OH$, $AzO_3$) ... | 19 |
| | biatomiques ($SO_4$, $CrO_4$)........... | 9 |
| Radicaux électro-positifs | monoatomiques ($H$, $K$, $AzH_4$). .. | 16 |
| | bi ou polyatomiques ($Ba$, $Mg$, $Al$).. | 8 |

De telle sorte qu'on a, par exemple

| | | |
|---|---|---|
| Pour $NaCl$ | $T = 16 + 19$ | ou 35 |
| $K_2CrO_4$ | $T = 16 \times 2 + 9$ | ou 41 |
| $CaCl_2$ | $T = 8 + 19 \times 2$ | ou 46 |
| $Al_2Cl_6$ | $T = 8 \times 2 + 19 \times 6$ | ou 130 |

J'avais trouvé antérieurement, pour les abaissements partiels des radicaux salins, les nombres 20, 11, 15 et 8 Ceux que je donne aujourd'hui, et qui en diffèrent légèrement, sont plus exacts, ils s'accordent presque complètement avec les résultats des expériences les plus correctes, du moins en ce qui concerne les sels dont l'acide et la base ne sont pas tous les deux faibles à la fois Parmi les sels dont un radical est fort et l'autre faible, je n'en ai trouvé que deux dont l'abaissement moléculaire fût anormal, c'est-à-dire plus faible que ne l'indique la loi précédente, ce sont le chlorure de cadmium et le chlorure mercurique Parmi les sels dont l'acide et la base sont tous les deux forts, je n'ai encore trouvé aucune anomalie, bien que j'en aie essayé plus de cinquante

4—*Valeurs de T dans la Benzine*—Dans la benzine employée comme dissolvant, les valeurs des abaissements moléculaires T sont beaucoup moins nombreuses, elles se réduisent à deux, savoir $T = 49$ et $T = 25$ L'abaissement moléculaire voisin de 49 appartient à tous les composés organiques qui ne sont ni des alcools, ni des phénols, ni des acides (l'acide picrique excepté) Il appartient également aux chlorures minéraux, tels que les chlorures de soufre, d'arsénic, d'étain, etc L'abaissement moléculaire voisin de 25 est produit par les alcools les moins élevés dans la série et par les acides

5—*Valeurs de T dans l'Acide Acétique*—Dans l'acide acétique employé comme dissolvant, les abaissements moléculaires de tous les composés organiques, sans exception, sont compris entre 36 et 40 et sont le plus souvent voisins de $T = 39$ Les chlorures minéraux anhydres, dissous dans l'acide acétique ($SCl_2$, $AsCl_3$, $SnCl_4$, .....), y produisent le même abaissement moléculaire $T = 39$ La loi des abaissements moléculaires, dans ce dissolvant, est donc tout aussi simple que celle des volumes moléculaires à l'état de vapeur; elle ne présente pas les mêmes anomalies et,

jusqu'ici, elle n'en a présenté aucune; elle est susceptible de recevoir beaucoup plus d'applications, puisque non seulement l'acide acétique peut dissoudre tous les composés qui sont assez volatils pour qu'on ait pu prendre leurs densités de vapeur, mais qu'il peut encore dissoudre une foule de composés non volatils

L'application de ces données à la détermination des poids moléculaires est évidemment très simple Je crois cependant qu'il est utile de donner à ce sujet quelques explications complémentaires, et, pour cela, je considèrerai deux cas celui où le composé considéré est de nature organique et celui où ce composé est de nature minérale

## II.—Poids Moléculaires des Corps de Nature Organique

I—*Détermination du Coefficient d'Abaissement* —Le cas où le corps étudié est de nature organique est le plus simple On cherche d'abord si ce composé est soluble dans l'eau, dans l'acide acétique, ou dans la benzine En général, l'eau dissout bien les corps hydroxylés, c'est-à-dire ceux qui renferment un ou plusieurs atomes d'hydrogène alcoolique ou salin, elle dissout mal les hydrocarbures simples ou substitués et les éthers Au contraire, la benzine dissout mal les corps hydroxylés et bien les hydrocarbures et les éthers Le pouvoir dissolvant de l'acide acétique participe à la fois de celui de l'eau et de celui de la benzine, tout en se rapprochant davantage de ce dernier, il est, dans tous les cas, extrêmement étendu.

Le dissolvant étant trouvé et choisi, on détermine son point de congélation D'autre part, on pèse 100 gr du même liquide dans un flacon, on y introduit un poids P, exactement déterminé et généralement égal à 2 gr ou 3 gr. de la substance étudiée, on bouche et on agite jusqu'à dissolution complète. Si la substance est liquide, elle est pesée dans une ampoule qu'on brise ensuite dans le flacon par l'agitation. On détermine le point de congélation de la dissolution et, en faisant la différence entre ce point et celui du dissolvant pur, on obtient l'abaissement du point de congélation C du corps dissous Si on le peut, on fait plusieurs autres expériences avec des dissolutions plus concentrées; on trace la

courbe des $\frac{C}{P}$ et on en déduit la valeur correcte de $\frac{C}{P}$ à l'origine. Mais, comme je l'ai dit, on peut ordinairement se contenter d'une seule détermination, pourvu que la valeur de C soit voisine de 1°. La valeur de $\frac{C}{P}$ étant déterminée, il est très facile de calculer la valeur approchée du poids moléculaire M de la substance dissoute

2 *Calcul du Poids Moléculaire*—Si l'eau est le dissolvant employé, le poids moléculaire M est, d'après ce qui précède, donné par la formule

$$(\gamma) \qquad M = 19 \times \frac{P}{C}.$$

Si l'acide acétique est le dissolvant employé, le poids moléculaire M est

$$(\delta) \qquad M = 39 \times \frac{P}{C}$$

Si la benzine est le dissolvant employé, et si le corps n'est ni un alcool, ni un phénol, ni un acide (ce dont il est facile de s'assurer), on a

$$(\epsilon) \qquad M = 49 \times \frac{P}{C}$$

Lorsque le composé étudié est un alcool, un phénol, ou un acide, l'essai dans la benzine cesse de donner des résultats certains

Il arrive souvent que le même corps peut se dissoudre dans plus d'un de ces dissolvants On doit toujours profiter de cette circonstance pour déterminer son poids moléculaire dans deux de ces liquides et se ménager ainsi un moyen de contrôle.[1] Il est clair qu'en cas de désaccord c'est le plus faible des poids moléculaires trouvés qui doit être adopté.

3 *Exemples Divers*—On sait que la formule moléculaire exacte d'un composé est un multiple entier de la formule la plus simple qu'on puisse lui donner d'après sa composition chimique, et toute la question est de connaître la valeur de ce multiple. On y parvient très aisément, comme je l'ai dit, par la méthode cryos-

[1] se ménager un moyen de contrôle = to obtain a check.

copique, et il n'est même pas besoin pour cela de recourir aux moyens d'observation les plus délicats Pour le montrer, je rapporterai les résultats que j'ai obtenus, il y a plusieurs années déjà, en opérant sur l'éther; je choisis ce corps parce qu'il est soluble dans les trois dissolvants ci-dessus.

*Expérience Faite dans l'Eau*—Un poids P = 4 gr, 47 d'éther est dissous dans 100 gr d'eau L'abaissement du point de congélation (déterminé avec un thermomètre divisé en cinquièmes de degrés seulement) C = 1°,05 Le coefficient d'abaissement approché

est donc $\frac{C}{P} = \frac{1,05}{4,47}$ ou 0,23 Or, d'après la formule (γ) applicable aux matières organiques dissoutes dans l'eau, on doit avoir

$$M = \frac{19}{0,23}.$$

d'où

$$M = 82.$$

*Expérience Faite dans la Benzine*—Un poids P = 2 gr, 721 d'éther est introduit dans 100 gr de benzine L'abaissement du point de congélation qui en résulte pour la benzine (mesuré avec un thermomètre divisé en vingtièmes de degré) est C = 1°,826 Le coefficient d'abaissement approché est, d'aprés cela $\frac{C}{P} = \frac{1,826}{2,721}$ ou 0,671. On a donc, d'après la formule (ε) applicable au cas actuel,

$$M = \frac{49}{0,671},$$

d'où

$$M = 73.$$

*Expérience Faite dans l'Acide Acétique*—Un poids P = 1 gr., 510 d'éther, dissous dans 100 gr d'acide acétique, détermine un abaissement du point de congélation C = 0°,800 (même thermomètre que dans la benzine) Le coefficient d'abaissement approché est donc $\frac{C}{P} = \frac{0,800}{1,510}$ ou 0,529; ce qui donne en vertu de

la formule (δ) relative à l'acide acétique,

$$M = \frac{39}{0,539},$$

d'où $$M = 74.$$

Ces trois déterminations approximatives, faites dans des dissolvants différents, montrent que le poids moléculaire de l'éther doit être voisin des nombres 82, 73 et 74.

D'autre part, les considérations chimiques montrent que le poids moléculaire exact de l'éther correspond à la formule équivalente $C_4H_5O$, ou à un multiple entier de cette formule; il est donc nécessairement représenté par l'un des nombres 37, 74, 111, etc Or, parmi ces derniers, 74 est évidemment le plus rapproché de 82 trouvé dans l'eau, de 73 trouvé dans la benzine, et de 74 trouvé dans l'acide acétique C'est donc certainement 74 qui est le véritable poids moléculaire de l'éther, et c'est, par conséquent, $C_8H_{10}O_2$ qui est la véritable formule de ce composé en équivalents

4—*Accord des Résultats Avec les Formules Modernes*—Sur environ 150 composés organiques de toute espèce, sur lesquels j'ai expérimenté comme il vient d'être dit, il n'en est point[1] dont le poids moléculaire, ainsi trouvé, ait été quelque peu incertain Aucun d'eux n'a présenté d'anomalies, même parmi ceux qui, comme l'hydrate de chloral, possèdent une densité de vapeur anormale Les seules substances organiques pour lesquelles j'aie trouvé un poids moléculaire différent de celui qui est généralement adopté sont la morphine et l'iodoforme D'après l'abaissement qu'elle produit dans l'acide acétique, la morphine doit avoir pour formule atomique $2(C_{17}H_{19}AzO_3)$, au lieu de $C_{17}H_{19}AzO_3$ qui est généralement admise, c'est d'ailleurs une observation que M Wright a déjà faite (Chem Soc Jour, 2 série, t, XII) Quant à l'iodoforme, d'après l'abaissement qu'il produit dans la benzine, sa formule doit être également doublée et écrite $2(CHI_3)$, au lieu de $CHI_3$ que tout le monde écrit aujourd'hui, par analogie avec celle du chloroforme $CHCl_3$

L'accord presque complet qu'on remarque entre les poids moléculaires, que j'ai déterminés jusqu'ici par la méthode cryoscopi-

[1] il n'en est point = there is none

que, et ceux qui sont adoptés par les chimistes modernes, est d'ailleurs tout naturel, il résulte de ce que, préoccupé avant tout de fonder ma méthode sur des bases solides, je n'ai guère expérimenté jusqu'à présent que sur des composés dont le poids moléculaire est bien établi Il en sera, sans doute, plus d'une fois autrement, lorsque viendra l'étude des corps non volatils, encore incomplétement étudiés ou réfractaires aux substitutions simples

5—*Généralité de la Méthode*—Remarquons, en terminant ce sujet, qu'il est fort peu[1] de matières organiques dont le poids moléculaire ne puisse être fixé par cette méthode, puisque presque tous les corps de cette catégorie sont solubles dans l'un des trois dissolvants précédents Même dans le cas où ils y sont insolubles à l'état de liberté, il y a souvent moyen de résoudre la question en les engageant dans une combinaison soluble Par exemple, les acides et les bases organiques insolubles dans l'eau, l'acide acétique ou la benzine, peuvent devenir solubles dans l'eau quand on les fait passer à l'état de sels, dès lors, leur poids moléculaire se détermine avec facilité, comme on le verra bientôt

## III—Poids Moléculaires des Corps de Nature Minérale.

1 Pour les composés de nature minérale, le nombre des dissolvants qu'on peut employer est beaucoup plus restreint que pour les matières organiques Les acides, les bases et les sels proprement dits ne peuvent guère être dissous que dans l'eau; les chlorures minéraux volatils peuvent se dissoudre dans l'acide acétique et dans la benzine

2. *Chlorures Minéraux Anhydres*—Les poids moléculaires des chlorures minéraux anhydres ($AsCl_3$, $SnCl_4$, etc ) peuvent être déterminés facilement d'après l'observation du point de congélation de leurs solutions dans la benzine ou dans l'acide acétique.

Dans la benzine, employée comme dissolvant, on a

$$(\epsilon) \qquad M = 49 \times \frac{P}{C}$$

[1] il est fort peu = there are very few

Dans l'acide acétique, employé comme dissolvant, on a

$$(\delta) \qquad M = 39 \times \frac{P}{C},$$

comme pour les matières organiques.

Il importe que l'acide acétique employé soit absolument exempt d'eau mélangée, celle-ci pouvant décomposer le chlorure dissous

Comme les chlorures solubles dans ces dissolvants sont tous volatils et que leurs densités de vapeur peuvent être facilement déterminées, il ne semble pas, tout d'abord, qu'il y ait grande utilité à déterminer leurs poids moléculaires par la méthode cryoscopique Il y en a cependant, au moins pour les chlorures, dont on peut craindre la dissociation par la vaporisation. C'est le cas, par exemple, pour le perchlorure de phosphore Le perchlorure de phosphore, dissous dans la benzine, possède un coefficient d'abaissement $\frac{C}{P} = 0{,}241$, pour un abaissement du point de congélation $C = 0°{,}926$, on a donc pour son poids moléculaire

$$M = \frac{49}{0{,}241}.$$

d'où $M = 203$

Ce nombre 203 est aussi rapproché qu'on peut le désirer de 208,5, qui correspond à la formule $PCl_5$ Cette formule est donc la bonne

3 *Acides, Bases et Sels*—Les sels dissous dans l'eau ont une constitution toute spéciale et leurs abaissements moléculaires son régis par des lois d'une complication exceptionnelle On peut néanmoins, déterminer le poids moléculaire des acides, des bases et des sels, d'après l'abaissement du point de congélation qu'il produisent dans l'eau; il suffit de mettre à profit[1] les données que j'ai fournies plus haut, relativement aux valeurs de T dans les différents groupes. Voici, à cet égard, quelques règles simples et pratiques qui pourront guider les expérimentateurs.

Le poids moléculaire d'un acide, d'une base ou d'un sel neutr est déterminé quand on connaît la basicité de l'acide ou l'atomi

[1] mettre à profit = to make use of.

cité du métal Voyons comment on peut déterminer l'une et l'autre

4 *Détermination de la Basicité D'un Acide* —J'ai dit plus haut que, dans la formule ($\alpha$), on a, l'eau étant le dissolvant employé :

T = 35 pour les sels alcalins (c'est-à-dire de K, Na, Am, etc ) à acides monobasiques,

T = 40 pour les sels alcalins neutres à acides bibasiques

J'ajoute que l'on a·

T = 45 pour les sels alcalins neutres à acides tribasiques ou tetrabasiques.

Cela résulte d'expériences concordantes faites sur les sels alcalins de trente-six acides différents, savoir

Acides monobasiques azotique, chlorique, perchlorique, iodique, permanganique, hypochloreux, formique, acétique, fluorhydrique, chlorhydrique, bromhydrique, iodhydrique, cyanhydrique, sulfocyanhydrique, sulfhydrique, hypophosphoreux

Acides bibasiques hyposulfureux, sulfureux, hyposulfurique, sulfurique, sélénique, chromique, tungstique, carbonique, phosphoreux, oxalique, tartrique, malique, nitroprussique, platinocyanhydrique

Acides tribasiques phosphorique, citrique, ferricyanhydrique, cobalticyanhydrique

Acides tétrabasiques pyrophosphorique, ferrocyanhydrique

Si donc on désigne par E le poids moléculaire d'un sel alcalin neutre qui renferme 1 éq de métal (ce qu'on prenait autrefois pour l'équivalent du sel), on a E = M pour les premiers, $E = \frac{M}{2}$ pour les seconds, et enfin $E = \frac{M}{3}$ ou $E = \frac{M}{4}$ pour les derniers Il en résulte, pour les sels alcalins neutres dissous dans l'eau

Si l'acide du sel est monobasique .. $\frac{C}{P} \times E = 35{,}0$

Si l'acide du sel est bibasique . $\frac{C}{P} \times E = 20{,}0$

Si l'acide est tribasique ou tétrabasique $\frac{C}{P} \times E = 15{,}0$

Il est facile, d'après cela, de déterminer la basicité d'un acide. On fait passer l'acide considéré à l'état de sel alcalin neutre, en le saturant avec de la potasse, de la soude ou de l'ammoniaque; on dissout ce sel dans l'eau, on détermine son coefficient d'abaissement $\frac{C}{P}$ à l'origine; enfin on calcule la valeur du produit $\frac{C}{P} \times E$

Suivant que[1] ce produit se rapproche de 35, de 20 ou de 15, on conclut que l'acide du sel est monobasique, bibasique ou tribasique

Citons quelques exemples choisis parmi ceux dont s'occupe la Chimie élémentaire et qui prêtent à la controverse

*Premier Exemple*—Détermination de la basicité et de la formule de l'acide fluorhydrique—La question est intéressante, puisque les chimistes les plus distingués hésitent à se prononcer à ce sujet

On transforme l'acide fluorhydrique en fluorure de potassium; on trace la courbe des coefficients d'abaissement $\frac{C}{P}$ de ce sel dissous dans l'eau et on en déduit, pour la valeur de $\frac{C}{P}$ à l'origine le nombre 0,605 Or le poids E de fluorure de potassium qui renferme 39 gr ou 1 éq de potassium est 58

On a donc ici

$$\frac{C}{P} \times E = 0{,}605 \times 58 \text{ ou } \frac{C}{P} \times E = 35{,}1$$

Ce nombre est évidemment plus voisin de 35 que de 20 ou de toute autre valeur inférieure, par conséquent l'acide fluorhydrique est monobasique et sa formule est HFl

*Deuxième Exemple*—Détermination de la basicité et de la formule de l'acide carbonique—La basicité de cet acide ne peut faire question que pour les chimistes qui font usage des équivalents; car pour ceux qui emploient la notation atomique, l'acide carbonique est nécessairement bibasique Parmi les raisons expérimentales qui le font aujourd'hui considérer comme bibasique figure sa propriété de donner des sels alcalins acides; mais cette propriété n'appartient pas exclusivement aux acides bibasiques,

[1] suivant que = according to whether

puisque l'acide fluorhydrique, qui est certainement monobasique comme nous venons de le voir, produit des fluorhydrates de fluorures très stables. Les raisons empruntées à la Chimie organique sont, par contre, péremptoires, mais il n'est pas possible de les exposer dans un Cours de Chimie minérale. Il n'est donc pas inutile de fournir, en faveur de la bibasicité de l'acide carbonique, une preuve décisive et immédiate

Le coefficient d'abaissement à l'origine du carbonate neutre de potasse dissous dans l'eau est, d'après mes expériences, $\frac{C}{P} =$ 0,292 D'autre part, le poids de carbonate de potasse qui renferme 1 éq ou 39 gr. de potassium est E = 69, on a donc

$$\frac{C}{P} \times E = 0{,}292 \times 69 \quad \text{ou} \quad \frac{C}{P} \times E = 20{,}1$$

Ce dernier nombre est beaucoup plus rapproché de 20 que de 35 ou de 15, l'acide carbonique est donc bibasique La formule du carbonate neutre de potasse est donc $(KO)_2C_2O_4$, en équivalents, par suite, celle de l'acide carbonique est $C_2O_4$ et son poids moléculaire est 44

5. *Cas des Acides Organiques*—La méthode s'applique à la détermination de la basicité et de la formule des acides organiques, bien que leurs sels alcalins neutres se décomposent légèrement dans l'eau Le poids moléculaire des acides organiques peut, d'ailleurs, comme nous l'avons vu, être obtenu directement en les dissolvant dans l'eau ou dans l'acide acétique Ces diverses méthodes peuvent se contrôler mutuellement

Voyons maintenant comment on peut déterminer l'atomicité d'un métal dans un sel.

6 *Détermination de l'Atomicité d'un Métal*—Nous avons dit que les abaissements moléculaires de tous les azotates métalliques et de presque tous les chlorures métalliques dissous dans l'eau sont égaux à 35 ou à 45, suivant que le métal est monoatomique ou biatomique C'est l'expression même des résultats fournis par les azotates des seize métaux suivants: Métaux monoatomiques: potassium, sodium, ammonium, lithium, coesium, argent.

Métaux biatomiques: baryum, strontium, calcium, magnésium, manganèse, zinc, cadmium, cuivre, plomb, mercure

Je n'ai pu réussir à trouver d'exception à cette règle, et il y a lieu de la considérer comme générale

Si donc on désigne par E le poids de l'azotate métallique renfermant 14 gr. ou 1 éq d'azote, on aura:

Si le métal du sel est monoatomique .. $\frac{C}{P} \times E = 35{,}0$

Si le métal est biatomique . . . . $\frac{C}{P} \times E = 22{,}5$

Ajoutons que l'on a constamment:

Quand le métal est polyatomique. . $\frac{C}{P} \times E = 22{,}5$

Cela dit, voici comment on procède pour déterminer l'atomicité d'un métal: on détermine le coefficient d'abaissement $\frac{C}{P}$ à l'origine de l'azotate de ce métal dissous dans l'eau, on calcule la valeur du produit $\frac{C}{P} \times E$, et, suivant que ce produit est voisin de 35 ou de 22,5, on peut dire avec certitude que le métal du sel est monoatomique ou qu'il ne l'est pas

Relativement à la question de savoir si le métal du sel est biatomique, triatomique,. . . . ou hexatomique, la méthode ne peut guère, quant à présent, donner autre chose que des présomptions

L'emploi des azotates dans cette recherche est avantageux, parce qu'ils sont tous solubles dans l'eau et qu'aucun d'eux ne présente un abaissement moléculaire anormal Mais on peut parfaitement employer les chlorures, sans qu'il soit nécessaire de rien changer aux chiffres précédents. L'abaissement moléculaire anormal, que les chlorures des métaux biatomiques peu oxydables ($CdCl_2$, $HgCl_2$) présentent parfois dans les dissolutions aqueuses, n'empêche nullement l'application de la règle précédente et n'entraîne aucune erreur Comme il n'est guère de métal dont le chlorure ou l'azotate ne soit soluble dans l'eau, on voit que ce procédé est d'une application très générale.

*Premier Exemple*—Détermination de l'atomicité du lithium—Le coefficient d'abaissement à l'origine du chlorure de lithium dissous dans l'eau est $\frac{C}{P} = 0,840$. Le poids de ce sel qui renferme 1 éq ou 35 gr., 5 de chlore est $E = 42,5$; on a donc

$$\frac{C}{P} \times E = 0,840 \times 42,5 = 35,7.$$

Ce nombre 35,7 est beaucoup plus rapproché de 35 que de 22,5, et il en résulte que le lithium est monoatomique Le poids moléculaire de son chlorure correspond à la formule $LiCl = 42,5$ et, par conséquent, celui du lithium est égal à 7

*Deuxième Exemple*—Détermination de l'atomicité du cadmium—On sait que le poids atomique du cadmium et celui du mercure, déterminés d'après leurs densités gazeuses, sont précisément égaux à leurs équivalents, tandis qu'ils ont une valeur double lorsqu'on les déduit des chaleurs spécifiques des mêmes corps pris dans l'état solide Dans le premier cas, ces métaux sont désignés comme monoatomiques et dans le second comme biatomiques De quel côté est la vérité? La cryoscopie permet facilement de décider la question.

L'expérience montre que l'azotate de cadmium, dissous dans l'eau, possède un coefficient d'abaissement à l'origine $\frac{C}{P} = 0,192$

On sait, d'autre part, que le poids de l'azotate de cadmium qui renferme 14 gr ou 1 éq. d'azote est 118 On a donc ici

$$\frac{C}{P} \times E = 0,192 \times 118 = 22,7.$$

Ce nombre 22,7 est évidemment plus près de 22,5 que de 35, par conséquent, le cadmium est biatomique C'est donc avec raison qu'on représente l'azotate de cadmium par la formule atomique $Cd(AzO_3)_2$, dans laquelle $Cd = 112$ En opérant avec le sulfate de cadmium, on arrive à la même conclusion, relativement à l'atomicité de ce métal, on le verra plus loin.

Avec le chlorure de cadmium, on trouve $\frac{C}{P} \times E = 16,7$, ce qui

est un nombre anormal Ce nombre 16,7 n'en est pas moins, et à plus forte raison, plus éloigné de 35 que de 22,5, ce qui prouve encore que le cadmium n'est pas monoatomique

*Troisième Exemple* —Détermination de l'atomicité du mercure. —L'azotate de mercure se décomposant partiellement dans l'eau, il est nécessaire de prendre des dispositions spéciales pour empêcher cette décomposition. On dissout donc l'azotate mercurique ou simplement l'oxyde rouge de mercure dans une dissolution d'acide azotique employé en excès On a ainsi un mélange d'azotate mercurique et d'acide azotique, dont les proportions sont données par le calcul. Connaissant l'abaissement du point de congélation du mélange et l'abaissement partiel de l'acide azotique libre, on peut calculer l'abaissement partiel de l'azotate mercurique, en se fondant sur[1] la loi des mélanges Donnons quelques détails, pour préciser

Je prends 109 gr , 203 d'une dissolution d'acide azotique monohydraté J'y introduis 4 gr , 733 d'oxyde mercurique, qui passent rapidement à l'état d'azotate mercurique, et j'ai dès lors un mélange nouveau qui, d'après le calcul, a la composition suivante·

| | |
|---|---|
| Acide azotique monohydraté | 6,440 gr |
| Azotate mercurique anhydre | 7,101 |
| Eau . . | 100,000 |

L'expérience donne, pour l'abaissement du point de congélation de ce mélange, le nombre 4° ,587 D'après la courbe des coefficients d'abaissement bruts $\frac{C}{P}$ de l'acide azotique (courbe qui a été construite d'avance), cet acide, à cette température 4°,587, possède un coefficient d'abaissement brut $\frac{C}{P} = 0,581$ L'abaissement partiel produit par 6 gr , 440 d'acide azotique dans 100 gr d'eau est donc

$$0,581 \times 6,440 \text{ ou } 3°,742.$$

Déduisant 3°,742 de l'abaissement du mélange, qui est 4°,587, il reste 0°,845 pour l'abaissement partiel dû à 7 gr , 101 d'azotate mercurique dans 100 gr. d'eau. Le coefficient d'abaissement brut

[1] en se fondant sur = basing one's self on

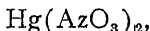
$\frac{C}{P}$ de l'azotate mercurique, à 4°,587, est donc $\frac{C}{P} = \frac{0,845}{7,101}$ ou $\frac{C}{P}$ = 0,119.

En faisant varier convenablement les proportions relatives d'eau, d'acide azotique et d'azotate mercurique, on obtient des mélanges dont l'abaissement du point de congélation est plus faible que le précédent, et on en déduit, de la même manière, le coefficient d'abaissement brut de l'azotate mercurique à différentes températures, comprises entre 4°,5 et 2°,5 En appliquant à ces résultats la construction connue, on trouve, pour le coefficient d'abaissement à l'origine de l'azotate mercurique, $\frac{C}{P} = 0,141$.

Le poids E de l'azotate mercurique, qui renferme 1 éq. d'azote, est 162. Par conséquent, on a pour ce sel

$$\frac{C}{P} \times E = 0,141 \times 162 = 22,8$$

Ce nombre 22,8 étant beaucoup plus rapproché de 22,5 que de 35 et se confondant presque avec 22,5, on peut affirmer que le mercure est biatomique. Par conséquent, la formule atomique de l'azotate mercurique est



$$Hg(AzO_3)_2,$$

dans laquelle Hg = 200 La méthode indirecte, dont je viens de donner un exemple, est susceptible d'être appliquée à presque tous les sels qui ont une tendance plus ou moins marquée à se décomposer dans l'eau pure.

Pour le chlorure mercurique, on a $\frac{C}{P} \times E = 14,1$ Ce nombre est anormal Il n'en est pas moins plus éloigné[1] de 35 que de 22,5, ce qui montre encore que le mercure n'est point monoatomique Tous ces résultats sont concordants

On voit donc, en résumé, que, pour le cadmium comme pour le mercure, c'est la chaleur spécifique, et non la densité de vapeur qui indique le poids atomique véritable du métal

7. *Autre Méthode*—Dans ce qui précède, j'ai recommandé pour déterminer l'atomicité ou la basicité des radicaux salins, de

[1] il n'en est pas moins plus éloigné = it is nevertheless farther away.

les combiner avec des radicaux antagonistes, monobasiques ou monoatomiques, comme K, Cl,.. ...,etc. En opérant ainsi, en effet, on forme le plus souvent des sels solubles dans l'eau, et qui donnent des indications particulièrement nettes. Mais rien n'oblige à agir de cette façon, et l'on peut parfaitement combiner les radicaux salins, que l'on veut étudier, avec des radicaux antagonistes biatomiques ou bibasiques, tels que $SO_4$, Mg, etc.

Il résulte des données que j'ai rapportées plus haut que, si l'on désigne par E le poids du sel qui renferme 1 éq. de métal biatomique, on a :

Si l'acide du sel est monobasique .. $\frac{C}{P} \times E = 22{,}5$

Si l'acide du sel est biatomique $\frac{C}{P} \times E = 8{,}5$.

Un acide sera donc reconnu comme monobasique ou bibasique à ce que[1] le produit $\frac{C}{P} \times E$, relatif à son sel magnésien (par exemple), sera voisin de 22,5 ou de 8,5

Les bases minérales combinées avec l'acide sulfurique (ou tout autre acide bibasique fort) donnent, pour un poids E de sel renfermant 1 éq. d'acide

Si le métal du sel est monoatomique $\frac{C}{P} \times E = 20{,}0$

Si le métal du sel est biatomique $\frac{C}{P} \times E = 8{,}5$

On reconnaîtra donc qu'un métal est monoatomique ou biatomique à ce que l'abaissement produit par 1 éq de son sulfate, par exemple, sera voisin de 20 ou de 8,5.

*Exemple.*—Avec le sulfate de cadmium, dissous dans l'eau, on trouve que la valeur de $\frac{C}{P}$ à l'origine est de 0,081. On sait, d'autre part, que l'équivalent de ce sel est 103,7 On a donc $\frac{C}{P} \times E = 8{,}4$ Ce dernier nombre se confondant presque avec 8,5, on

[1] à ce que = when, by the fact that

peut affirmer que le cadmium est biatomique; c'est d'ailleurs ce que nous savions déjà d'après l'expérience faite sur son azotate.

La saturation, par des acides bibasiques, des bases dont on veut déterminer l'atomicité ne peut présenter d'avantages que dans le cas où elle donne naissance à des sels plus solubles que les azotates, mais ce cas est très rare et le plus souvent, même, on n'obtient ainsi que des sels insolubles. C'est pour cela que je n'en parle qu'accessoirement. Chacun pourra, d'ailleurs, déduire des données fournies plus haut les moyens les plus convenables de résoudre la question dans chaque cas particulier.

8. La basicité des acides et l'atomicité des métaux peuvent encore être déduites de l'abaissement du point de congélation, produit par les éthers et les radicaux organométalliques en dissolution dans l'acide acétique ou dans la benzine. Les résultats ainsi obtenus vérifient et complètent, au besoin, ceux qui sont fournis par l'étude cryoscopique des sels dissous dans l'eau.

9. La méthode cryoscopique est, on le comprend, capable de recevoir des accroissements importants par l'emploi de dissolvants nouveaux, et, en fait, il n'y a d'autre obstacle à son extension indéfinie que la difficulté de mesurer exactement le point de fusion des dissolvants, qui fondent, à des températures notablement différentes de la température ordinaire. Réduit à ses ressources actuelles, cette méthode est déjà d'une application fort étendue, pusiqu'elle est en mesure de déterminer le poids moléculaire de la multitude des corps qui sont solubles dans l'eau, l'acide acétique ou la benzine. Le nombre de ces corps est bien plus considérable que celui des substances qui sont assez volatiles pour qu'on puisse prendre leur densité de vapeur. On peut donc dire que, de toutes les méthodes physiques qui permettent d'arriver à la connaissance des poids moléculaires, la méthode cryoscopique, telle que je la pratique aujourd'hui, est la plus générale de beaucoup[1]. C'est aussi la plus sûre, puisque chacune de ses indications est susceptible de contrôle.

Grenoble, Ier Novembre 1885.

[1] de beaucoup = by far

# RECHERCHES SUR LES PROPRIÉTÉS SPÉCIFIQUES DES DEUX ACIDES QUI COMPOSENT L'ACIDE RACÉMIQUE.

Par M. L PASTEUR.

*Annales de Chimie et de Physique,* Troisième Série, Vol 28, 1850.

Je me propose d'établir, dans ce travail, que l'acide paratartrique ou racémique est une combinaison de deux acides, l'un déviant à droite, l'autre à gauche le plan de polarisation des rayons lumineux, tous deux de la même quantité absolue et dont les formes cristallines, identiques dans toutes leurs parties respectives, sont des polyèdres symétriques, non superposables. Je montrerai, d'autre part, que l'un de ces acides est l'acide tartrique, et que les sels correspondants de ces deux acides offrent les analogies les plus nouvelles et les plus inattendues entre leurs propriétés physiques et chimiques Toute la différence de ces sels consiste, comme celle de leurs acides, dans le pouvoir inverse qu'ils exercent sur le plan de polarisation de la lumière, et dans la symétrie de leurs formes cristallines

Afin de rappeler l'origine et l'action sur la lumière polarisée de ces deux acides, je les nommerai acide dextroracémique et acide lévoracémique L'acide dextroracémique est l'acide tartrique Dans le Mémoire qui a précédé celui-ci, et auquel l'Académie a bien voulu accorder son approbation, je signalais déjà l'existence de ces deux acides, mais je ne les avais obtenus qu'en quantité excessivement petite Tout ce que j'avais pu constater, c'est qu'ils avaient des pouvoirs rotatoires inverses Depuis lors, j'ai pu les produire avec abondance, grâce à l'obligeance extrême avec laquelle M Kestner, de Thann, l'auteur de la découverte de l'acide racémique, a bien voulu mettre à ma disposition une assez grande quantité de cet acide Je profite de cette occasion pour remercier ici publiquement cet industriel distingué. Je dois attacher d'autant plus de prix à cette obligeance, que ce singulier acide racémique ne se produit plus Non seulement M. Kestner n'en obtient pas trace dans sa fabrication depuis l'époque de sa découverte, mais il a fait des essais variés pour le reproduire, et

il n'y est point parvenu. C'est donc une fois seulement, sans doute par une circonstance particulière de la fabrication, ou par une maladie du tartre dans les raisins, que cet acide a pris naissance. Les raisins des Vosges n'en renferment pas plus que ceux des autres contrées. J'ai la conviction qu'une fois l'attention des chimistes appelée sur ce sujet, et les résultats des recherches que l'on va lire étant connus, on ne tardera pas à transformer l'acide tartrique en acide racémique.

### Racémate Double de Soude et d'Ammoniaque

La matière première[1] à l'aide de laquelle je sépare de l'acide racémique les deux acides qui entrent dans sa composition est le racémate double de soude et d'ammoniaque. C'est l'intermédiaire par lequel je suis obligé de passer pour arriver à la préparation de l'acide dextro-racémique et de l'acide lévoracémique.

Si l'on sature des poids égaux d'acide racémique par de la soude et de l'ammoniaque, et que l'on mêle les liqueurs neutres, il se dépose par refroidissement, ou par évaporation spontanée, un sel double en cristaux d'une grande beauté, et que l'on peut obtenir en trois ou quatre jours avec des dimensions extraordinaires, quelquefois de plusieurs centimètres de longueur et d'épaisseur. En examinant attentivement et un à un les cristaux qui se déposent dans cette opération, j'ai reconnu, ainsi que je l'ai expliqué dans mon premier travail, qu'il y avait deux sortes de cristaux, les uns hémièdres à droite, les autres hémièdres à gauche, et exactement en même poids, quelle que soit l'époque de la cristallisation. La solution des cristaux hémièdres à droite dévie à droite le plan de polarisation, celle des cristaux hémièdres à gauche dévie à gauche, de la même quantité absolue toutes deux et, à part la disposition des facettes hémiédriques, les deux espèces de cristaux sont d'une identité parfaite sous tous les rapports. Donéravant je nommerai dextroracémate de soude et d'ammoniaque les cristaux hémièdres à droite, lévoracémate de soude et d'ammoniaque, les cristaux hémièdres à gauche. Pour isoler ces deux sels l'un de l'autre, il faut examiner successivement chaque cristal, en distinguer le caractère hémiédrique, et mettre

[1] la matière première = the raw material

ensemble tous ceux dont les facettes hémiédriques ont la même orientation Si les cristaux s'enchevêtrent, s'ils sont groupés et assis les uns sur les autres, on ne peut faire le triage[1] que j'indique que sur une faible partie de la cristallisation Autant que possible, il faut des cristaux isolés, très nets, portant les facettes qui accusent l'hémiédrie et son sens J'ai remarqué que si à une dissolution saturée froide, l'eau mère d'une cristallisation par exemple, on ajoute une certaine quantité des cristaux mixtes, qu'on fasse dissoudre ceux-ci à chaud dans cette solution, en trois ou quatre jours on avait de très beaux cristaux, isolés, faciles à choisir. La quantité de sel solide que l'on ajoute à l'eau mère varie avec la température, mais elle doit être telle que, par refroidissement, il ne se dépose dans les premières vingt-quatre heures que quelques cristaux seulement. Ceux-ci sont alors très éloignés, et dans les jours suivants on les voit grossir et augmenter en nombre La dissolution de ce sel perd de l'ammoniaque par évaporation, il en résulte un dépôt peu abondant de sel acide en très petits cristaux Pour empêcher la formation de ce sel acide, j'ajoute quelques gouttes d'ammoniaque à la solution au moment où je la mets à cristalliser

Lorsqu'en suivant ces précautions on a obtenu une belle cristallisation, on décante l'eau mère,[2] on essuie chaque cristal séparément avec du papier buvard[3] froissé entre les mains, et l'on procède au triage des deux espèces de cristaux J'ajouterai encore qu'il faut toujours retirer une cristallisation le matin, parce que l'élévation de la température de la journée fait redissoudre les cristaux en partie, ce qui fait disparaître les petites facettes hémiédriques

On conçoit très bien que par ce triage il est difficile d'isoler complètement le dextroracémate du lévoracémate En séparant deux cristaux inverses, accolés, il se peut qu'une parcelle de l'un reste sur l'autre Ces cristaux renferment en outre à leur surface, si on ne les a pas bien essuyés, et toujours dans leur intérieur, une petite quantité d'eau mère, et cette eau mère contient les

[1] le triage = the sorting
[2] eau mère = mother liquor
[3] papier buvard = blotting paper

deux sels La purification est très simple Il suffit de faire cristalliser séparément le dextroracémate et le lévoracémate extraits par un premier triage. On obtient ainsi les deux espèces de sels très pures, et, bien entendu, le caractère hémiédrique se conserve pour chacun. La solution du lévoracémate ne donne par cristallisation nouvelle aucun cristal qui porte à droite les facettes hémiédriques; la dissolution du dextroracémate n'en donne aucun qui les porte à gauche. C'est seulement la cristallisation des dernières portions d'eaux mères qui donnerait des cristaux droite et gauche.

Si l'on veut s'assurer immédiatement, par une réaction chimique, que les cristaux qui se déposent quand on essaie de faire le racémate double de soude et d'ammoniaque, sont de deux espèces, et qu'aucun pris isolément ne contient d'acide racémique, il suffira de prendre l'un de ces cristaux, de le dissoudre et de traiter la solution par un sel de chaux On verra, si les liquides sont un peu étendus, qu'aucun précipité ne prendra naissance, et qu'après quelque temps il se déposera des cristaux brillants, isolés, en prisme droit à base rhombe, passant à l'octaèdre sur les angles des bases. Enfin, le sel de chaux se précipitera avec tous les caractères du tartrate de cette base Les solutions des deux espèces de cristaux se comporteront exactement de même pour l'œil Mais si, au lieu de prendre les cristaux séparés, on réunit deux cristaux, l'un hémièdre à droite, l'autre à gauche, et qu'on les dissolve ensemble, le précipité par le sel de chaux, même dans des liqueurs très étendues, se formera tout de suite, ou après quelques secondes, à l'état de poudre amorphe ou en petites lames minces, isolées ou groupées en étoile, selon le plus ou moins de lenteur de la précipitation, enfin avec tous les caractères du racémate de chaux

## Préparation des Acides Dextroracémique et Lévoracémique

Pour obtenir les acides dextroracémique et lévoracémique, il faut d'abord se procurer une assez grande quantité des cristaux qui se déposent lorsqu'on essaie de préparer le racémate double de soude et d'ammoniaque On prend des poids égaux d'acide racémique; on sature l'un de ces poids par le carbonate de soude pur, l'autre par l'ammoniaque, et on mêle les deux liqueurs. On

évapore et on fait cristalliser en suivant les indications que j'ai données précédemment. Une solution de ce sel double, saturée à 11 degrés centigrades, marque 23 degrés à l'aréomètre de Beaumé Elle marque 28 degrés si elle est saturée à la température de 21 degrés.

Ainsi que je l'ai expliqué, deux espèces de cristaux prennent naissance, les uns hémièdres à droite, les autres à gauche On sépare les cristaux hémièdres à droite des cristaux hémièdres à gauche Ces deux espèces de cristaux sont dissous à part et remis à cristalliser

*Acide Dextroracémique* —Le dextroracémate de soude et d'ammoniaque pur dissous dans l'eau est traité par le nitrate de plomb ou un sel de baryte Le sel de plomb convient mieux parce qu'il y a moins de perte, le dextroracémate de ce métal est presque tout à fait insoluble dans l'eau Le précipité, d'abord gélatineux, ne tarde pas à devenir cristallin, surtout à chaud; il se lave d'ailleurs facilement par décantation ou sur filtre J'ai lieu de croire[1] cependant qu'il entraîne avec lui un peu de nitrate de plomb que le lavage ne lui enlève pas

Les cristaux de dextroracémate de plomb, examinés à la loupe ou au microscope, ont la forme de prismes droits à base rhombe avec des modifications sur les angles qui conduisent à l'octaèdre Par leur aspect, ils ressemblent beaucoup au tartrate de chaux Ce sel est anhydre et a pour composition $C_4H_2O_5PbO$

1,603 gr. de ce sel calcinés dans une capsule de porcelaine ont laissé un résidue de 0,972 Le poids de plomb métallique obtenu, après avoir traité ce résidu par l'acide acétique, était de 0 479 On déduit de ces données que le dextroracémate de plomb renferme 62,9 pour cent d'oxyde de plomb C'est exactement ce qu'exige la formule précédente.

L'expérience suivante prouve que le dextroracémate de plomb est presque tout à fait insoluble: 100 grammes de dextroracémate de soude et d'ammoniaque ont été traités par 130 grammes de nitrate de plomb. Le dextroracémate précipité et desséché pesait 135 grammes. Ce poids de dextroracémate de plomb correspond à 50 grammes d'acide anhydre, et, d'après la composition du dex-

[1] j'ai lieu de croire = I have reasons to believe.

troracémate de soude et d'ammoniaque, 100 grammes de ce sel renferment 50,5 gr d'acide anhydre.

Le dextroracémate de plomb est traité ensuite par l'acide sulfurique à une douce température. Si l'on veut obtenir l'acide cristallisé, il sera préférable d'ajouter un petit excès d'acide sulfurique Dans le cas contraire, on n'emploiera que la quantité d'acide sulfurique nécessaire à la décomposition du sel de plomb

J'ai également préparé l'acide dextroracémique et l'acide lévoracémique en traitant les sels de plomb délayés dans l'eau par un courant d'acide sulfhydrique Cette méthode est plus longue et n'offre aucun avantage.

L'acide dextroracémique cristallise dans des liqueurs concentrées, surtout en présence d'une certaine quantité d'acide sulfurique On obtient des cristaux limpides, volumineux, d'une grande beauté, par une évaporation lente Cet acide dextroracémique est identique avec l'acide tartrique pour toutes ses propriétés physiques et chimiques. Je lui conserverai cependant le nom d'acide dextroracémique pour rappeler son origine C'est dans cette intention seule que je lui donne ce nom, car il est impossible de douter de son identité parfaite avec l'acide tartrique de la crème de tartre ordinaire. Je vais, du reste, établir ce fait d'une manière incontestable

*Acide Lévoracémique*—La préparation de l'acide lévoracémique se fait absolument comme celle de l'acide dextroracémique Le lévoracémate de soude et d'ammoniaque est traité par le nitrate de plomb: le lévoracémate de plomb est ensuite décomposé par l'acide sulfurique étendu

Cet acide cristallise facilement par évaporation lente, surtout s'il est mêlé d'un peu d'acide sulfurique, en très beaux cristaux limpides, volumineux, d'une grande netteté Rien n'est plus curieux et plus extraordinaire à la fois, dans l'état actuel de la science, que l'étude de cet acide comparée à celle de l'acide dextroracémique ou tartrique. Entre l'acide tartrique et l'acide lévoracémique, que l'on pourrait aussi appeler lévotartrique, il est impossible d'assigner d'autres différences que l'hémiédrie, et du sens de la déviation du plan de polarisation des rayons lumineux Angles des faces, aspect physique, solubilité, poids spéci-

fique, propriétés chimiques, composition, tout se ressemble dans ces deux acides, mais la forme cristalline de l'un est la forme symétrique de l'autre. Le cristal d'acide tartrique, présenté devant une glace, offre une image qui est exactement la forme de l'acide lévoracémique. D'autre part, l'acide lévoracémique dévie à gauche le plan de polarisation des rayons lumineux, tandis que l'acide tartrique le dévie à droite, mais de la même quantité absolue.

### Acide Racémique

Il résulte des faits précédemment exposés que l'on peut dédoubler l'acide racémique en deux acides distincts, dont l'un est l'acide tartrique, et qui offrent cet isomorphisme symétrique très remarquable que nous venons de signaler. La preuve que telle est bien la constitution de cet acide sera complète, si nous montrons qu'une fois isolés, ces deux acides peuvent redonner l'acide racémique d'où on les a extraits. Cette preuve synthétique est des plus faciles. Il suffit de mêler des solutions concentrées d'acide dextroracémique ou d'acide tartrique et d'acide lévoracémique pour qu'à l'instant il se forme, avec un dégagement de chaleur très sensible à la main, des cristaux abondants d'acide racémique. Tout se prend en masse solide et cristalline, et l'acide ainsi formé a toutes les propriétés physiques et chimiques de l'acide racémique. En faisant redissoudre et cristalliser, on obtient de beaux cristaux d'acide racémique, tout à fait identiques, par leur forme cristalline et leur composition chimique, avec l'acide racémique de Thann.

0,5 gr. de cet acide ont donné 0,519 d'acide carbonique et 0,215 d'eau. D'où:

| | |
|---|---|
| Carbone | 28,32 |
| Hydrogène | 4,96 |

La formule $C_4H_2O_5HO, HO$ de l'acide racémique de Thann exige:

| | |
|---|---|
| Carbone | 28,57 |
| Hydrogène | 4,76 |

C'est après avoir fait l'étude de la composition de l'acide racémique et des racémates, que Berzélius appela l'attention sur les

substances de même composition chimique et de propriétés distinctes. Dans le même travail il proposa, pour désigner ces substances, la dénomination d'isomères adoptée par tous les chimistes On a, pendant quelque temps, essayé de rendre compte de l'isomérie de l'acide racémique et de l'acide tartrique, par la différence de capacité de saturation de ces deux acides En réalité elle est la même L'isomérie de ces deux acides est aujourd'hui parfaitement expliquée par la découverte des acides lévoracémique et dextroracémique

Je rappelais en commençant ce travail que ce singulier acide racémique, ainsi que me l'a assuré M. Kestner, n'a jamais été obtenu dans sa fabrique depuis l'époque où il a été découvert. Nous voyons ici, d'autre part, que cet acide est une combinaison d'acide tartrique et d'un autre acide identique avec l'acide tartrique, si ce n'est qu'il offre en sens inverse cette dissymétrie moléculaire que présente l'acide tartrique. Nous voyons aussi que l'acide tartrique et l'acide lévoracémique ou lévotartrique, se combinent immédiatement, dès qu'ils sont en présence, pour donner de l'acide racémique Il est donc très probable que cet acide racémique s'est produit la première fois par une altération de l'acide tartrique, altération qui avait eu pour but de changer de sens la dissymétrie moléculaire de cet acide Il faudrait trouver un agent capable de produire sur l'acide tartrique cette modification moléculaire à peu près comme les acides étendus transforment le sucre de cannes déviant à droite en sucre de cannes déviant à gauche Cette transformation a sans doute eu lieu lorsqu'on a découvert cet acide, soit dans la fabrique même de M. Kestner, ou, ce qui est moins probable cependant, par quelque maladie des raisins à cette époque

On sait, par les expériences précises de M Biot, que le pouvoir rotatoire de l'acide tartrique diminue avec la température. D'ailleurs entre l'acide tartrique et l'acide lévoracémique dissous il n'y a qu'une seule différence, c'est que le premier dévie à droite, l'autre à gauche, le plan de polarisation des rayons lumineux. J'ai donc pensé qu'en soumettant à un grand froid la solution d'acide tartrique, j'obtiendrais de l'acide lévoracémique, qui, s'unissant immédiatement à l'acide tartrique non transformé, don-

nerait sur-le-champ[1] de l'acide racémique. Soumises au froid, les solutions aqueuses d'acide tartrique se congèlent, et l'on conçoit que le mouvement moléculaire n'est plus guère possible Les solutions alcooliques résistent et demeurent liquides, mais l'on sait que l'acide tartrique réagit sur les alcools, et, en réalité, on opère sur autre chose que sur l'acide tartrique Les solutions qui paraissent le mieux convenir, sont celles d'acide tartrique dans l'acide sulfurique et eau. D'une part, elles restent liquides pour un froid assez considérable; d'autre part, l'acide sulfurique abaisse considérablement le pouvoir rotatoire de l'acide par sa présence seule. Enfin, on se rapproche aussi des circonstances qui ont dû avoir lieu, lorsque, dans la fabrique de Thann, l'acide racémique a pris naissance.

Dans son "Mémoire sur plusieurs points fondamentaux de Mécanique chimique," M Biot a étudié, page 301, une solution d'acide tartrique dans l'acide sulfurique composée comme il suit

| | |
|---|---|
| Acide tartrique | 22,6856 gr |
| Acide sulfurique | 65,0225 (acide anhydre) |
| Eau . . | 95,8971 |

La déviation à travers le verre rouge, dans un tube de 501,5 mm, a été de + 2° ,2, et à travers le verre violet, de—4 95 à la température de 14 degrés

J'ai formé une solution semblable, et je l'ai soumise à un froid de 19 degrés La liqueur est restée limpide, et il ne s'est pas produit d'acide racémique

Je dois ajouter que le raisonnement qui me conduisait à essayer de telles expériences n'est peut-être que spécieux, car, si le froid tend à diminuer le pouvoir rotatoire d'une solution tartrique et à la transformer en solution lévoracémique, il a aussi pour effet de diminuer le pouvoir d'une solution lévoracémique en valeur absolue, et de la transformer, par là même, en solution tartrique

Quoiqu'il en soit, c'est avec un véritable regret que je présente ce travail à l'Académie sans avoir pu encore transformer l'acide tartrique en acide racémique.

[1] sur-le-champ = at once.

# DES EFFETS PRODUITS SUR LES CORPS PAR LES RAYONS SOLAIRES

PAR M EDMOND BECQUEREL

*(Professeur de Physique au Musee National d'Histoire Naturelle, Paris)*

Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, le 23 Octobre 1843
*Annales de Chimie et de Physique,* Troisième Série, Vol 9

## ACTINOMÈTRE ÉLECTROCHIMIQUE

Dans plusieurs Mémoires que j'ai présentés à l'Académie, j'ai étudié le dégagement de l'électricité produit lors des réactions chimiques qui ont lieu sous l'influence de la lumière, j'ai fait voir qu'en étendant certains corps, tels que du chlorure ou du bromure d'argent, qui sont impressionnables à la lumière, sur des lames métalliques, on pouvait, à l'aide du galvanomètre, reconnaître la présence de l'électricité dégagée par suite de la décomposition chimique de ces corps. Plus tard, j'ai indiqué la construction et l'usage d'un appareil que j'ai nommé actinomètre électrochimique, et qui est destiné à étudier les rayons chimiques qui agissent sur l'iodure, et même sur le chlorure et le bromure d'argent, par suite des courants électriques développés lors de leur décomposition partielle à la lumière

Depuis l'époque à laquelle j'ai présenté ce Mémoire, j'ai fait usage de cet appareil, et j'ai été à même[1] de faire des remarques importantes pour son emploi, comme aussi j'avais des moyens de fixer d'une manière précise la portion des parties actives du spectre, j'ai obtenu des résultats plus exacts, et je vais rapporter dans ce paragraphe, en peu de mots, en quoi consiste cet appareil, ainsi que les précautions à prendre pour obtenir de bons effets

Cet appareil, se compose d'abord d'une table longitudinale de 2 à 3 mètres de longueur, munie d'une règle divisée, le long de laquelle peut se mouvoir avec très peu de frottement une planchette de bois carrée supportant une cuve à eau

Cette cuve à eau est cubique et de 1 décimètre de côté. Dans son intérieur, rempli d'eau rendue très faiblement conductrice à l'aide d'un peu de sulfate de soude ou de quelques gouttes d'acide

[1] j'ai été à même = I have had occasion.

nitrique ou sulfurique, plongent deux lames d'argent de 25 centimètres carrés chacune, peu épaisses, et terminées par deux tiges également en argent qui viennent s'attacher et communiquer avec deux montants en cuivre. Ces deux montants sont fixés sur la planchette et font communiquer les lames avec les deux extrémités d'un multiplicateur à fil long, excessivement sensible En avant de cette cuve à eau, et sur la planchette, sont placés deux écrans, l'un d'eux est en cuivre, et percé d'une ouverture verticale rectangulaire de 1 centimètre de largeur et de la hauteur de la cuve, ouverture qui correspond au milieu de celle-ci, de sorte qu'en éclairant l'écran, il n'y a que la portion de la lame d'argent qui est immédiatement derrière l'ouverture qui soit éclairée et qui reçoive les effets du rayonnement Cette ouverture peut être augmentée ou diminuée en diamètre, à l'aide d'un système de deux lames métalliques qui se rapprochent ou s'éloignent comme dans les appareils de diffraction

L'autre écran, complètement opaque, peint en blanc, est placé vis-à-vis du précédent et immédiatement devant lui, lorsqu'on veut intercepter toute action du rayonnement, et connaître la portion du spectre solaire qui frappe le centre de l'ouverture du premier écran

Il est nécessaire de remplir la cuve d'eau très peu conductrice de l'électricité, car l'expérience prouve que plus ce liquide est meilleur conducteur, moins le courant que l'on doit observer a d'intensité, ainsi, en prenant de l'eau fortement acidulée, il peut se faire qu'on observe aucun effet

Il faut que l'actinomètre soit placé dans une chambre parfaitement obscure, où la lumière ne puisse pénétrer que par l'ouverture du volet, et le mieux est d'avoir son galvanomètre dans une autre pièce que la chambre obscure Après avoir bien décapé les lames d'argent, on expose une de leurs surfaces à la vapeur d'iode, jusqu'à ce que la couche d'iodure d'argent soit jaunâtre. Il faut les iodurer sans que les lames voient la moindre clarté, et éclairer l'intérieur de la chambre obscure à l'aide d'une bougie placée très loin, afin que l'iodure ne soit pas influencée

Les lames une fois iodurées, on les plonge dans la cuve à eau, noircie extérieurement de trois côtés et remplie d'eau, de manière

qu'une d'elles présente sa surface iodurée devant l'écran échancré et que la surface iodurée de l'autre lame soit tournée vers un des côtés noircis de la cuve, en sorte que cette dernière ne reçoit en rien[1] l'action du rayonnement chimique qui peut influencer l'autre lame Une fois attachées aux supports de cuivre, on les met en relation avec un excellent multiplicateur à long fil

Dans le premier moment, il se produit, un courant électrique assez énergique, provenant de la non-homogénéité des deux lames ; mais si on laisse l'appareil abandonné à lui-même, l'aiguille se fixe quelquefois au zéro ou bien à quelques degrés d'un côté ou de l'autre Si elle n'est pas au zéro, en approchant de loin un petit barreau aimanté, on influe sur le système astatique et on peut le ramener vers zéro Il est vrai que la table des intensités, construites pour le galvanomètre, ne peut plus servir ; mais dans chaque circonstance il est un moyen facile de graduer en peu de temps son galvanomètre

Ce moyen consiste à avoir un second galvanomètre moins sensible que celui qui doit servir à l'actinomètre, et de telle manière qu'un même courant qui donne une déviation de 80 degrés et même plus dans le galvanomètre très sensible, ne donne tout au plus que 20 degrés dans celui qui l'est le moins. Maintenant on fait passer, à l'aide d'une pile thermoélectrique, un même courant dans les deux galvanomètres à la fois, et en modifiant l'intensité du courant, on aura dans le premier galvanomètre une série de déviations comprises entre 0 et 90 degrés, et dans l'autre les déviations correspondantes entre 0 et 20 degrés Or, comme entre 0 et 20 degrés les déviations sont proportionnelles aux intensités du courant, il s'ensuit que ces dernières indications donnent les intensités correspondantes aux déviations du galvanomètre le plus sensible

Si l'on avait enduit seulement une seule lame d'iodure d'argent, on aurait eu un courant initial trop considérable, qui, tout en pouvant désaimanter l'aiguille du galvanomètre, maintiendrait pendant trop longtemps une trop grande déviation dans cet instrument, ce qui empêcherait les expériences Le mieux est de faire communiquer les deux lames entre elles une fois qu'elles sont

[1] en rien = in no way

plongées dans le liquide, avant de les mettre en rapport avec le multiplicateur, afin d'atténuer la polarisation des électrodes.

Il faut donc, avant d'opérer, avoir gradué son galvanomètre; une seconde condition à remplir, c'est de n'agir que lorsque le ciel est sans nuages, afin que pendant toute la durée de l'expérience, qui est d'une heure ou deux, on ait des résultats comparables.

Si l'on voulait opérer à l'aide d'une lame rendue plus sensitive par le chlorure d'iode ou par la vapeur de brome, on aurait des déviations plus considérables; mais la manière d'opérer serait la même et les résultats à peu près semblables

Les choses ainsi disposées, on introduit, à l'aide d'une ouverture verticale dans la chambre obscure, un faisceau de rayons solaires, et on forme un spectre horizontal fixe et épuré, comme il est dit précédemment, de manière que le prisme ait son arête verticale et soit dans la position du minimum de déviation. On dispose la table de l'actinomètre de sorte que la ligne centrale du spectre corresponde exactement au milieu de la lame d'argent qui doit être exposée au rayonnement, et avant toute chose on laisse l'écran plein et l'on fait glisser la cuve à eau le long de la règle divisée, de sorte que chacune des raies principales du spectre lumineux obtenu par projection A, B, C, D, E, F, G, H, corresponde successivement à la ligne tracée au milieu sur cet écran peint On note les divisions correspondantes de la règle et l'on peut commencer après à opérer, car, à l'aide des divisions de la règle, en se reportant sur le spectre dessiné sur la fig 1, on peut savoir exactement dans quelle partie du spectre on opère

Il faut tâcher de se servir d'un spectre de 1 déc, 5 à 3 décimètres de long et d'une ouverture d'écran, au devant de la cuve à eau, de 4 à 5 millimèters de diamètre

Ces précautions une fois indiquées, supposons l'aiguille du galvanomètre fixe, le spectre solaire également fixe, les deux écrans devant la lame iodurée, et la cuve à eau au-delà des rayons rouges. Si l'on fait glisser cet appareil le long de la règle jusqu'au moment où l'on est dans le rouge, vers la raie A, qu'on arrête la cuve, qu'on enlève l'écran plein, alors les rayons de l'extrême rouge frappent la lame, et on ne voit aucune déviation dans le

galvanomètre ; on remet l'écran plein, on pousse un peu l'appareil le long de la règle et on l'arrête vers la raie B dans l'orangé ; on ôte de nouveau l'écran, et la lame étant frappée par les rayons orangés, on ne voit pas encore l'aiguille du galvanomètre se dévier En continuant ainsi, on ne commencera à voir une action que lorsque les rayons de l'extrême bleu, vers F, frapperont la lame Quelquefois on a bien une faible action dans le vert et le jaune ; mais probablement comme on le verra plus loin, c'est qu'il y a toujours un peu de lumière diffuse qui a frappé la lame avant l'expérience

Lorsque les rayons bleus frapperont la lame, on verra une action assez marquée allant en augmentant à mesure que l'on approche du violet Le maximum sera atteint entre G et H et l'on pourra même avoir 20 ou 30 degrés de déviation, et même davantage, suivant la préparation de la lame et la sensibilité du galvanomètre Au delà de H, l'action décroîtra, de sorte que vers P, au delà du violet, on n'aura plus qu'une action très faible

Il faut, je le répète, après chaque observation, mettre l'écran plein devant la lame, pousser l'appareil dans la partie que l'on veut explorer, ôter cet écran et ne laisser la lame découverte que pendant quelques secondes, le temps seulement nécessaire pour que l'aiguille du galvanomètre fasse sa déviation par première impulsion, alors on remet l'écran plein et on pousse l'appareil plus loin Il faut en agir ainsi pour que la lame ne soit pas trop impressionnée et qu'elle puisse présenter les mêmes résultats dans les mêmes circonstances, pendant toute la durée d'une série d'expériences

Si l'on fait revenir la cuve à eau en sens inverse, la planchette glissant toujours contre la règle, on repassera dans toutes les parties du spectre solaire, mais en entrant par l'extrémité la plus réfrangible ou violette, alors on retrouvera successivement dans les rayons situés depuis P jusqu'en F, à l'extrême bleu, les mêmes déviations pour les mêmes positions de l'actinomètre, ce qui est facile à constater d'après les divisions de la règle Mais en revenant dans le vert, vers E, on aura une action plus forte que précédemment dans ces mêmes rayons, et l'on trouvera maintenant dans le jaune, l'orangé et le rouge une action, là où primi-

tivement il n'y en avait aucune, et au delà de A on ne trouve plus rien ; de sorte que entre F et A on voit l'action d'un nouveau spectre, dont le maximum paraît entre D et E

Voilà donc une action qui se manifeste dans la partie la moins réfrangible du spectre, où précédemment il ne s'en était manifesté aucune Cela vient de ce que dans la première expérience, l'iodure n'avait pas été impressionné, et que dans la seconde, ayant été soumis à l'action des rayons les plus réfrangibles, il est sensible à l'action d'autres rayons que j'ai nommés pour cette substance et les autres sels d'argent, rayons continuateurs

Si l'on expose de nouveau la lame dans la partie violette, qu'ensuite on la transporte dans les rayons les moins réfrangibles, on retrouve, pour les mêmes positions de l'actinomètre, des déviations plus considérables que la seconde fois, tandis que dans les rayons les plus réfrangibles, on retrouve les mêmes nombres de degrés de déviation Une nouvelle exposition de la lame dans les parties du spectre donne les mêmes résultats, c'est-à-dire qu'à mesure que la lame est plus impressionée, l'action des rayons chimiques les moins réfrangibles ou continuateurs est plus intense, tandis que celle des rayons les plus réfrangibles reste la même

Cette augmentation d'action des rayons entre A et F va jusqu'à une certaine limite, en sorte que l'action maximum des rayons les moins réfrangibles ne dépasse guère l'action maximum des rayons excitateurs ou plus réfrangibles

Si l'on a soin, comme je l'ai déjà dit plusieurs fois, que dans chaque expérience la portion de la lame qui est derrière l'écran ne reste exposée, dans la partie du spectre que l'on explore, que le temps nécessaire à l'accomplissement de la déviation de l'aiguille aimantée par première impulsion, l'iodure d'argent s'impressionne très peu, et la même lame, exposée un grand nombre de fois dans les mêmes conditions de rayonnement, donne sensiblement lieu à la même déviation Ce n'est qu'après avoir été très fortement impressionnée, qu'elle ne donne plus le même courant Ce fait est très important à noter, car on peut faire avec la lame plusieurs séries d'expériences comparables entre elles

Ainsi, on voit donc qu'en examinant l'action du spectre sur de

l'iodure d'argent (on retrouve la même action sur les chlorures, bromures, etc.), on reconnaît qu'il y a pour ainsi dire[1] deux spectres qui agissent sur lui. l'un situé dans la partie la plus réfrangible du spectre solaire, a son maximum entre G et H, et se termine d'un côté en F, et de l'autre en P, agit toujours avec la même intensité; l'autre spectre est situé depuis F jusqu'à A, a son maximum entre D et E, n'agit que sur le spectre déjà impressionné, et a une action d'autant plus intense, que la substance est plus impressionnée jusqu'à ce que l'action maximum atteigne à peu près l'action du maximum de l'autre spectre

En passant sous silence tous les résultats consignés dans le Mémoire dont nous avons précédemment parlé, je vais indiquer les résultats plus précis que j'ai obtenus depuis, en fixant bien la position des raies Auparavant, je vais rapporter les résultats obtenus par Fraunhofer, pour comparer les facultés éclairantes du spectre lumineux, afin de fixer la position des parties du spectre qui produisent des effets chimiques

| Couleurs du spectre | Raies du spectre | Facultés éclairantes des parties du spectre correspondantes |
|---|---|---|
| Extrême rouge | A | Insensible |
| Orangé | B | 0,0320 |
| | C | 0,0940 |
| | D | 0,6400 |
| Jaune | Maximum entre D et E, situé à peu près à 0,3 de la distance DE, à partir de D | 1 |
| Vert | E | 0,4800 |
| Commencement du bleu | F | 0,1700 |
| Indigo | G | 0,0310 |
| Extrême violet | H | 0,0056 |

On voit que c'est dans le jaune où se trouve la partie la plus lumineuse, et que la faculté éclairante décroît très rapidement en s'approchant vers les deux extrémités du spectre; car, vers H, elle n'est plus que les 5/1000 de ce qu'elle était au maximum Ces résultats ne sont qu'approximatifs, car il est très difficile de comparer entre elles les intensités de deux lumières de couleur différente.

A l'aide de ces données, on peut construire la courbe qui représente, par ses ordonnées, le pouvoir éclairant des différentes par-

[1] pour ainsi dire = so to speak.

ties du spectre. Cette courbe est représentée, fig 2, et est tracée par une ligne pleine. La valeur de l'ordonnée maximum est arbitraire, on ne doit considérer que le rapport des ordonnées entre elles, le rapport des abscisses aux ordonnées étant aussi arbitraire.

Je vais maintenant rapporter les nombres qui expriment les intensités du courant électrique produit par l'action chimique des différentes parties du spectre correspondant aux raies que nous venons de citer, sur l'iodure d'argent. Je supposerai que l'on soit arrivé à une limite telle que l'action du spectre des rayons continuateurs soit à son maximum, et que le maximum des rayons excitateurs soit égal à celui des rayons continuateurs Pour que cette égalité ait lieu, il faut que l'iodure ait été assez fortement impressionné et qu'il présente même une coloration assez marquée, alors on a

SPECTRE CHIMIQUE QUI AGIT SUR L'IODURE D'ARGENT

| Rayons | Raies du spectre | Intensité du courant électrique produit |
|---|---|---|
| Rayons Continuateurs | A | 0,05 |
| | B | 0,20 |
| | C | 0,32 |
| | D | 0,68 |
| | Maximum entre D et E, à 0,6 de la distance DE à partir de D | 1 maximum |
| | E | 0,75 |
| | F | 0,25 |
| | Maximum d'action du spectre situé près de F entre F et G | 0,20 minimum |
| | G | 0,65 |
| Rayons excitateurs | Maximum entre G et H, à peu près à 0,4 de la distance GH à partir de G | 1 maximum |
| | H | 0,72 |
| | I | 0,40 |
| | M | 0,27 |
| | N | 0,17 |
| | O | 0,13 |
| | P | 0,05 |

Ainsi, lorsqu'on agit sur de l'iodure non impressionné, on n'a une action qu'entre P et F, et encore est-elle nulle en F. Si la lame est impressionnée, on a une autre série de rayons actifs entre F et A, et même, lorsque le maximum de ceux-ci n'est pas le même

que le maximum des premiers, les rapports des nombres entre F et A donnent les rapports des effets produits.

On peut, à l'aide de ces nombres, construire une courbe des intensités, comme précédemment, par les facultés éclairantes, en prenant pour la valeur des maxima la même que pour le minimum de la précédente courbe. On a la courbe, fig 2, $P\alpha\delta\zeta A$, qui présente deux maxima et un minimum, mais entre $\phi\delta O$, la portion de courbe est peut-être la réunion de deux courbes particulières des intensitiés d'actions des rayons excitateurs et continuateurs correspondantes à des abscisses égales, de sorte que la courbe des intensités $P\alpha\delta\zeta F$ pourrait bien être la réunion des deux courbes $P\alpha\phi\mu F$ et $G\mu O\delta A$ correspondant aux deux spectres de rayons qui agissent sur l'iodure d'argent La première est tracée par une ligne interrompue,[1] la seconde par une ligne ponctuée.[2]

Dans beaucoup de recherches que l'on fait, comme l'on emploie les changements chimiques que font éprouver les rayons solaires aux sels d'argent, il faut bien faire attention au mode d'action de ces rayons, qui présentent pour ainsi dire deux sortes de spectres chimiques, et c'est faute d'avoir fait attention[3] à ces réactions, qu'on est arrivé à des résultats inexacts, comme nous le verrons plus loin

Ces expériences et le tableau que nous avons donné ne sont relatifs qu'aux sels d'argent, puisque, comme nous l'avons dit, pour chaque substance impressionnable on observe des réactions différentes de la part des rayons solaires, qui n'ont pas lieu dans les mêmes portions du spectre Mais ce sont ces résultats, obtenus avec l'iodure d'argent, que nous prendrons sans cesse pour exemples, car l'action chimique que lui fait éprouver la lumière s'étend depuis P jusqu'en A, plus loin qu'avec les autres substances chimiquement impressionnables, et que, comme nous le démontrerons, les rayons de même réfrangibilité qui agissent sur différentes substances se comportent de la même manière, par rapport aux écrans de même nature.

[1] ligne interrompue = broken line
[2] ligne ponctuée = dotted line
[3] c'est faute d'avoir fait attention = it is on account of the failure to have noticed

# RECHERCHES SUR LES SUBSTANCES RADIOACTIVES.

PAR MME SKLODOWSKA CURIE

*(Professeur de Chimie Physique à la Sorbonne, Paris)*

*Annales de Chimie et de Physique,* Septième Série, Vol 30

## HISTORIQUE

La découverte des phénomènes de la radioactivité se rattache aux recherches poursuivies depuis la découverte des rayons Rontgen sur les effets photographiques des substances phosphorescentes et fluorescentes

Les premiers tubes producteurs de rayons Rontgen étaient des tubes sans anticathode métallique La source de rayons Rontgen se trouvait sur la paroi de verre frappée par les rayons cathodiques, en même temps cette paroi était vivement fluorescente On pouvait alors se demander si l'émission de rayons Rontgen n'accompagnait pas nécessairement la production de la fluorescence, quelle que fût[1] la cause de cette dernière Cette idée a été énoncée tout d'abord par M Henri Poincaré

Peu de temps après, M Henry annonça qu'il avait obtenu des impressions photographiques au travers du papier noir à l'aide du sulfure de zinc phosphorescent M Niewenglowsky obtint le même phénomène avec du sulfure de calcium exposé à la lumière. Enfin, M Troost obtint de fortes impressions photographiques avec de la blende hexagonale artificielle phosphorescente agissant au travers du papier noir et un gros carton

Les expériences qui viennent d'être citées n'ont pu être reproduites malgré les nombreux essais faits dans ce but On ne peut donc nullement considérer comme prouvé que le sulfure de zinc et le sulfure de calcium soient capables d'émettre, sous l'action de la lumière, des radiations invisibles qui traversent le papier noir et agissent sur les plaques photographiques

M Becquerel a fait des expériences analogues sur les sels d'uranium dont quelques-uns sont fluorescents

Il obtint des impressions photographiques au travers du papier noir avec le sulfate double d'uranyle et de potassium.

[1] quelle que fût = whatever may be.

M. Becquerel crut d'abord que ce sel, qui est fluorescent, se comportait comme le sulfure de zinc et le sulfure de calcium dans les expériences de MM. Henry, Niewenglowsky et Troost Mais la suite de ses expériences montra que le phénomène observé n'était nullement relié à la fluorescence. Il n'est pas nécessaire que le sel soit éclairé; de plus, l'uranium et tous ses composés, fluorescents ou non, agissent de même, et l'uranium métallique est le plus actif M Becquerel trouva ensuite qu'en plaçant les composés d'urane dans l'obscurité complète ils continuent à impressionner les plaques photographiques au travers du papier noir pendant des années M Becquerel admit que l'uranium et ses composés émettent des rayons particuliers · rayons uraniques. Il prouva que ces rayons peuvent traverser des écrans métalliques minces et qu'ils déchargent les corps électrisés. Il fit aussi des expériences d'après lesquelles il conclut que les rayons uraniques éprouvaient la reflexion, la réfraction et la polarisation

Les travaux d'autres physiciens (Elster et Geitel, lord Kelwin, Schmidt, Rutherford, Beattie et Smoluchowsky) sont venus confirmer et étendre les résultats des recherches de M. Becquerel, sauf en ce qui concerne reflexion, la réfraction et la polarisation des rayons uraniques, lesquels, à ce point de vue, se comportent comme les rayons Rontgen, comme cela a été reconnu par M Rutherford d'abord, et ensuite par M Becquerel lui-même.

## Radioactivité de l'Uranium et du Thorium.

### *Minéraux Radioactifs*

*Rayons de Becquerel*—Les rayons uraniques, découverts par M. Becquerel, impressionnent les plaques photographiques à l'abri de la lumière; ils peuvent traverser toutes les solutions solides, liquides et gazeuses, à condition que l'épaisseur en soit suffisamment faible, en traversant les gaz, ils les rendent faiblement conducteurs de l'électricité.

Ces propriétés des composés d'urane ne sont dues à aucune cause excitatrice connue. Le rayonnement semble spontané; il ne diminue point d'intensité quand on conserve les composés d'urane dans l'obscurité complète pendant des années, il ne s'agit

donc pas là d'une phosphorescence particulière produite par la lumière.

La spontanéité et la constance du rayonnement uranique se présentaient comme un phénomène physique tout à fait extraordinaire M Becquerel a conservé un morceau d'uranium pendant plusieurs années dans l'obscurité, et il a constaté qu'au bout de ce temps l'action sur la plaque photographique n'avait pas varié sensiblement MM Elster et Geitel ont fait une expérience analogue et ont trouvé également que l'action était constante

J'ai mesuré l'intensité du rayonnement de l'uranium en utilisant l'action de ce rayonnement sur la conductibilité de l'air. La méthode de mesure sera exposée plus loin J'ai ainsi obtenu des nombres qui prouvent la constance du rayonnement dans les limites de précision des expériences, c'est-à-dire 2 pour 100 ou 3 pour 100 près

En utilisant pour ces mesures un plateau métallique recouvert d'une couche d'uranium en poudre, ce plateau n'était d'ailleurs pas conservé dans l'obscurité, cette condition s'étant montrée sans importance d'après les observateurs cités précédemment Le nombre des mesures effectuées avec ce plateau est très grand, et actuellement ces mesures portent sur un intervalle de temps de 5 années.

Des recherches furent faites pour reconnaître si d'autres substances peuvent agir comme les composés d'urane M Schmidt publia le premier que le thorium et ses composés possèdent également cette faculté Un travail analogue fait en même temps m'a donné le même résultat J'ai publié ce travail, n'ayant pas encore eu connaissance de la publication de M Schmidt

Nous dirons que l'uranium, le thorium et leurs composés émettent des rayons de Becquerel J'ai appelé radioactives les substances qui donnent lieu à une émission de ce genre. Ce nom a été depuis généralement adopté.

Par leurs effets photographiques et électriques les rayons de Becquerel se rapprochent des rayons de Rontgen Ils ont aussi, comme ces derniers, la faculté de traverser toute matière. Mais leur pouvoir de pénétration est extrêmement différent: les rayons de l'uranium et du thorium sont arrêtés par quelques millimètres de matière solide et ne peuvent franchir dans l'air une distance

supérieure à quelques centimètres; tout au moins en est-il ainsi pour la grosse partie du rayonnement.

Les travaux de divers physiciens, et, en premier lieu, de M. Rutherford, ont montré que les rayons de Becquerel n'éprouvent ni reflexion régulière, ni réfraction, ni polarisation.

Le faible pouvoir pénétrant des rayons uraniques et thoriques conduirait à les assimiler aux rayons secondaires qui sont produits par les rayons Rontgen, et dont l'étude a été faite par M. Sagnac, plutôt qu'aux rayons Rontgen eux-mêmes.

D'autre part, on peut chercher à rapprocher les rayons de Becquerel de rayons cathodiques se propageant dans l'air (rayons de Lenard). On sait aujourd'hui que ces divers rapprochements sont tous légitimes.

*Mesure de l'Intensité du Rayonnement.*—La méthode employée consiste à mesurer la conductibilité acquise par l'air sous l'action des substances radioactives, cette méthode a l'avantage d'être rapide et de fournir des nombres que l'on peut comparer entre eux. L'appareil que j'ai employé à cet effet se compose essentiellement d'un condensateur à plateaux AB. La substance active finement pulvérisée est étalée sur le plateau B, elle rend conducteur l'air entre les plateaux. Pour mesurer cette conductibilité, on porte le plateau B à un potentiel élevé, en le reliant à l'un des pôles d'une batterie de petits accumulateurs P, dont l'autre pôle est à terre. Le plateau A étant maintenu au potentiel du sol par le fil CD, un courant électrique s'établit entre les deux plateaux. Le potentiel du plateau A est indiqué par un electromètre E. Si l'on interrompt en C la communication avec le sol, le plateau A se charge, et cette charge fait dévier l'électromètre. La vitesse de la déviation est proportionnelle à l'intensité du courant et peut servir à la mesurer.

Mais il est préférable de faire cette mesure en compensant la charge que prend le plateau A, de manière à maintenir l'électromètre au zèro. Les charges, dont il est question ici, sont extrêmement faibles, elles peuvent être compensées au moyen d'un quartz piézo-électrique Q, dont une armature est reliée au plateau A, et l'autre armature est à terre. On soumet la lame de quartz à une traction connue produite par des poids placés dans un plateau $\pi$;

cette traction est établie progressivement et, a pour effet de dégager progressivement une quantité d'électricité connue pendant un temps qu'on mesure L'opération peut être réglée de telle manière, qu'il y ait à chaque instant compensation entre la quantité d'électricité qui traverse le condensateur et celle de signe contraire que fournit le quartz. On peut ainsi mesurer en valeur absolue la quantité d'électricité qui traverse le condensateur pendant un temps donné, c'est-à-dire l'intensité du courant La mesure est indépendente de la sensibilité de l'électromètre

En effectuant un certain nombre de mesures de ce genre, on voit que la radioactivité est un phénomène susceptible d'être mesuré avec une certaine précision. Elle varie peu avec la température, elle est à peine influencée par les oscillations de la température ambiante, elle n'est pas influencée par l'éclairement de la substance active L'intensité du courant qui traverse le condensateur augmente avec la surface des plateaux Pour un condensateur donné et une substance donnée le courant augmente avec la différence de potentiel qui existe entre les plateaux, avec la pression du gaz qui remplit le condensateur et avec la distance des plateaux (pourvu que cette distance ne soit pas trop grande par rapport au diamètre) Toutefois, pour de fortes différences de potentiel, le courant tend vers une valeur limite qui est pratiquement constante C'est le courant de saturation ou courant limite De même pour une certaine distance des plateaux assez grande, le courant ne varie plus guère avec cette distance C'est le courant obtenu dans ces conditions qui a été pris comme mesure de radioactivité dans mes recherches, le condensateur étant placé dans l'air à la pression atmosphérique

En plus de la différence de potentiel que l'on établit entre les plateaux, il existe entre ces derniers une force électromotrice de contact, et ces deux causes de courant ajoutent leurs effets, c'est pourquoi la valeur absolue de l'intensité du courant change avec le signe de la différence de potentiel extérieure Toutefois, pour des différences de potentiel notables, l'effet de la force électromotrice de contact est négligeable, et l'intensité du courant est alors la même, quel que soit le sens du champ entre les plateaux

L'étude de la conductibilité de l'air et d'autres gaz soumis à

l'action des rayons de Becquerel a été faite par plusieurs physiciens. Une étude très complète du sujet a été publiée par M. Rutherford

Les lois de la conductibilité produite dans les gaz par les rayons de Becquerel sont les mêmes que celles trouvées avec les rayons Rontgen Le mécanisme du phénomène paraît être le même dans les deux cas La théorie de l'ionisation des gaz par l'effet des rayons Rontgen ou Becquerel rend très bien compte[1] des faits observés Cette théorie ne sera pas exposée ici. Je rappellerai seulement les résultats auxquels elle conduit

1° Le nombre d'ions produits par seconde dans le gaz est considéré comme proportionnel à l'énergie de rayonnement absorbée par le gaz,

2° Pour obtenir le courant limite relatif à un rayonnement donné, il faut, d'une part, faire absorber intégralement ce rayonnement par le gaz, en employant une masse absorbante suffisante, d'autre part, il faut utiliser pour la production du courant tous les ions créés, en établissant un champ électrique assez fort pour que le nombre des ions qui se recombinent devienne une fraction insignifiante du nombre total des ions produits dans le même temps, qui sont presque tous entraînés par le courant et amenés aux électrodes Le champ électrique moyen nécessaire pour obtenir ce résultat est d'autant plus élevé que l'ionisation est plus forte

D'après les recherches récentes de M Townsend, le phénomène est plus complexe quand la pression du gaz est faible Le courant semble d'abord tendre vers une valeur limite constante quand la différence de potentiel augmente, mais, à partir d'une certaine différence de potentiel, le courant recommence à croître avec le champ, et cela avec une rapidité très grande M Townsend admet que cet accroissement est dû à une ionisation nouvelle produite par les ions eux-mêmes quand ceux-ci, sous l'action du champ électrique, prennent une vitesse suffisante pour qu'une molécule du gaz, rencontrée par un de ces projectiles, se trouve brisée et divisée en ses ions constituants Un champ électrique intense et une pression faible favorisent cette ionisation par les ions déjà présents,

[1] rend compte = accounts for

et, aussitôt que celle-ci commence à se produire, l'intensité du courant croît constamment avec le champ moyen entre les plateaux. Le courant limite ne saurait donc être obtenu qu'avec des causes ionisantes, dont l'intensité ne dépasse pas une certaine valeur, de telle façon que la saturation corresponde à des champs pour lesquels l'ionisation par choc des ions ne peut encore avoir lieu Cette condition se trouvait réalisée dans mes expériences.

L'ordre de grandeur des courants de saturation que l'on obtient avec les composés d'urane est de $10^{-11}$ ampères pour un condensateur dont les plateaux ont 8 cm de diamètre et sont distants de 3 cm Les composés de thorium donnent lieu à des courants du même ordre de grandeur, et l'activité des oxydes d'uranium et de thorium est très analogue

*Radioactivité des Composés d'Uranium et de Thorium* —Voici les nombres que j'ai obtenus avec divers composés d'urane, je désigne par *i* l'intensité du courant en ampères

| | $i \times 10''$ |
|---|---|
| Uranium métallique (contenant un peu de carbone) | 2,3 |
| Oxyde d'urane noir $U_2O_5$ | 2,6 |
| Oxyde d'urane vert $U_3O_4$ | 1,8 |
| Acide uranique hydraté | 0,6 |
| Uranate de potassium | 1,2 |
| Uranate de sodium | 1,2 |
| Uranate d'ammonium | 1,3 |
| Sulfate uraneux | 0,7 |
| Sulfate d'uranyle et de potassium | 0,7 |
| Azotate d'uranyle | 0,7 |
| Phosphate de cuivre et d'uranyle | 0,9 |
| Oxysulfure d'urane | 1,2 |

L'épaisseur de la couche du composé d'urane employé a peu d'influence, pourvu que la couche soit continue Voici quelques expériences à ce sujet:

| | Épaisseur de la couche | $i \times 10''$ |
|---|---|---|
| Oxyde d'urane | 0,5 mm | 2,7 |
| | 3,0 | 3,0 |
| Urate d'ammonium | 0,5 | 1,3 |
| | 3,0 | 1,4 |

On peut conclure de là que l'absorption des rayons uraniques par la matière qui les émet est très forte, puisque les rayons

venant des couches profondes ne peuvent pas produire d'effet notable

Les nombres que j'ai obtenus avec les composés du thorium m'ont permis de constater

1° Que l'épaisseur de la couche employée a une action considérable, surtout avec l'oxyde,

2° Que le phénomène n'est régulier que si l'on emploie une couche active mince (0 mm., 25 par exemple). Au contraire, quand on emploie une couche de matière épaisse (6 mm.), on obtient des nombres oscillant entre des limites étendues, surtout dans le cas de l'oxyde

| | Epaisseur de la couche | $i \times 10''$ |
|---|---|---|
| Oxyde de thorium | 0,25 mm | 2,2 |
| | 0,5 | 2,5 |
| | 2,5 | 4,7 |
| | 3,0 | 5,5 en moyenne |
| | 6,0 | 5,5 |
| Sulfate de thorium . . | 0,25 | 0,8 |

Il y a dans la nature du phénomène une cause d'irrégularité qui n'existe pas dans le cas des composés d'urane Les nombres obtenus pour une couche d'oxyde de 6 mm d'épaisseur variaient entre 3,7 et 7,3

Les expériences que j'ai faites sur l'absorption des rayons uraniques et thoriques ont montré que les rayons thoriques sont plus pénétrants que les rayons uraniques et que les rayons émis par l'oxyde de thorium en couche épaisse sont plus pénétrants que ceux qu'il émet en couche mince. Voici, par exemple, les nombres qui indiquent la fraction du rayonnement que transmet une lame d'aluminium dont l'épaisseur est 0,01 mm ·

| Substance rayonnante | | Fraction du rayonnement transmise par la lame |
|---|---|---|
| Uranium | | 0,18 |
| Oxyde d'urane $U_2O_5$ | | 0,20 |
| Uranate d'ammonium | | 0,20 |
| Phosphate d'urane et de cuivre | | 0,21 |
| Oxyde de thorium sous épaisseur | 0,25 mm | 0,38 |
| Oxyde de thorium sous épaisseur | 0,5 mm | 0,47 |
| Oxyde de thorium sous épaisseur | 3,0 mm | 0,70 |
| Oxyde de thorium sous épaisseur | 6,0 mm | 0,70 |
| Sulfate de thorium | 0,25 mm | 0,38 |

Avec les composés d'urane, l'absorption est la même quel que soit le composé employé, ce qui porte à croire[1] que les rayons émis par les divers composés sont de même nature

Les particularités de la radiation thorique ont été l'objet de publications très complètes M. Owens a montré que la constance du courant n'est obtenue qu'au bout d'un temps assez long en appareil clos, et que l'intensité de courant est fortement réduite par l'action d'un courant d'air (ce qui n'a pas lieu pour les composés d'uranium). M Rutherford a fait des expériences analogues et les a interprétées en admettant que le thorium et ses composés émettent non seulement des rayons de Becquerel, mais encore une émanation, constituée par des particules extrêmement tenues,[2] qui restent radioactives pendant quelque temps après leur émission et peuvent être entraînées par un courant d'air

Les caractères de la radiation thorique qui sont relatifs à l'influence de l'épaisseur de la couche employée et à l'action des courants d'air ont une liaison étroite avec le phénomène de la radioactivité induite et de sa propagation de proche en proche Ce phénomène a été observé pour la première fois avec le radium et sera décrit plus loin

La radioactivité des composés d'uranium et de thorium se présente comme une propriété atomique M Becquerel avait déjà observé que tous les composés d'uranium sont actifs et avait conclu que leur activité était due à la présence de l'élément uranium, il a montré également que l'uranium était plus actif que ses sels J'ai étudié à ce point de vue les composés de l'uranium et du thorium et j'ai fait un grand nombre de mesures de leur activité dans diverses conditions Il résulte de l'ensemble de ces mesures que la radioactivité de ces substances est bien effectivement une propriété atomique Elle semble ici liée à la présence des atomes des deux éléments considérés et n'est détruite ni par les changements d'état physique ni par les transformations chimiques Les combinaisons chimiques et les mélanges contenant de l'uranium ou du thorium sont d'autant plus actifs qu'ils contiennent une plus forte proportion de ces métaux, toute matière in-

[1] ce qui porte à croire = which leads one to believe.
[2] tenues = minute.

active agissant à la fois comme matière inerte et matière absorbant le rayonnement

*La Radioactivité Atomique est-elle un Phénomène Général?*—Comme il a été dit plus haut, j'ai cherché si d'autres substances que les composés d'uranium et de thorium étaient radioactives J'ai entrepris cette recherche dans l'idée qu'il était fort peu probable que la radioactivité considérée comme propriété atomique, appartînt à une certaine espèce de matière, à l'exclusion de toute autre. Les mesures que j'ai faites me permettent de dire que pour les éléments chimiques actuellement considérés comme tels, y compris[1] les plus rares et les plus hypothétiques, les composés étudiés par moi ont été toujours au moins 100 fois moins actifs dans mon appareil que l'uranium métallique Dans le cas des éléments répandus, j'ai étudié plusieurs composés; dans le cas des corps rares, j'ai étudié les composés que j'ai pu me procurer

Voici la liste des substances qui ont fait partie de mon étude sous forme d'élément ou de combinaison

1° Tous les métaux ou métalloides que l'on trouve facilement et quelques-uns, plus rares, produits purs, provenant de la collection de M Etard, à l'École de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris

2° Les corps suivants rares gallium, germanium, néodyme, praséodyme, niobium, scandium, gadolinium, erbium, samarium et rubidium (échantillons prêtés par M Demarçay) ; yttrium, ytterbium avec nouvel erbium (échantillons prêtés par M Urbain),

3° Un grand nombre de roches et de minéraux

Dans les limites de sensibilité de mon appareil je n'ai pas trouvé de substance simple autre que l'uranium et le thorium, qui soit douée de radioactivité atomique Il convient toutefois de dire quelques mots sur ce qui est relatif au phosphore Le phosphore blanc humide, placé entre les plateaux du condensateur, rend conducteur l'air entre les plateaux Toutefois, je ne considère pas ce corps comme radioactif à la façon de l'uranium et du thorium Le phosphore, en effet, dans ces conditions, s'oxyde et émet des rayons lumineux, tandis que les composés d'uranium

[1] y compris = including

et de thorium sont radioactifs sans éprouver aucune modification chimique appréciable par les moyens connus. De plus, le phosphore n'est actif ni à l'état de phosphore rouge, ni à l'état de combinaison.

Dans un travail récent, M Bloch vient de montrer que le phosphore, en s'oxydant en présence de l'air, donne naissance à des ions très peu mobiles qui rendent l'air conducteur et provoquent la condensation de la vapeur d'eau.

L'uranium et le thorium sont les deux éléments qui possèdent les plus forts poids atomiques (240 et 232), ils se rencontrent fréquemment dans les mêmes minéraux.

*Minéraux Radioactifs*—J'ai examiné dans mon appareil plusieurs minéraux; certains d'entre eux se sont montrés actifs, entre autres la pechblende, la chalcolite, l'autunite, la monazite, la thorite, l'organite, la fergusonite, la clévéite, etc Voici un tableau qui donne en ampères l'intensité *i* du courant obtenu avec l'uranium métallique et avec divers minéraux

| | $i \times 10^{11}$ |
|---|---|
| Uranium | 2,3 |
| Pechblende de Johanngeorgenstadt | 8,3 |
| Pechblende de Joachimsthal | 7,0 |
| Pechblende de Pzibran | 6,5 |
| Pechblende de Cornwallis | 1,6 |
| Clèvéite | 1,4 |
| Chalcolite | 5,2 |
| Autunite | 2,7 |
| | 0,1 |
| | 0,3 |
| | 0,7 |
| Thorites diverses | 1,3 |
| | 1,4 |
| Orangite | 2,0 |
| Monazite | 0,5 |
| Xenotime | 0,03 |
| Aeschynite | 0,7 |
| Fergusonite, 2 échantillons | 0,4 |
| | 0,1 |
| Samarskite | 1,1 |
| Niobite, 2 échantillons | 0,1 |
| | 0,3 |
| Tantalite | 0,02 |
| Carnotite | 6,2 |

(La carnotite est un minerai de vanadate d'urane récemment découvert par Friedel et Cumenge.)

Le courant obtenu avec l'orangite (minerai d'oxyde de thorium) variait beaucoup avec l'épaisseur de la couche employée. En augmentant cette épaisseur depuis 0,25 mm. à 6 mm., on faisait croître le courant de 1,8 à 2,3

Tous les minéraux qui se montrent radioactifs contiennent de l'uranium ou du thorium, leur activité n'a donc rien d'étonnant, mais l'intensité du phénoméne pour certains minéraux est inattendue Ainsi, on trouve des pechblendes (minerais d'oxyde d'urane) qui sont 4 fois plus actives que l'uranium métallique La chalcolite (phosphate de cuivre et d'urane cristallisé) est 2 fois plus active que l'uranium Ces faits étaient en désaccord avec les considérations précédentes, d'après lesquelles aucun minerai n'aurait dû se montrer plus actif que l'uranium ou le thorium.

Pour éclaircir ce point, j'ai préparé de la chalcolite artificielle par le procédé de Debray, en partant de produits purs Ce procédé consiste à mélanger une dissolution d'azotate d'uranyle avec une dissolution de phosphate de cuivre dans l'acide phosphorique, et à chauffer vers 50° ou 60°. Au bout de quelque temps, des cristaux de chalcolite se forment dans la liqueur.

La chalcolite ainsi obtenue possède une activité tout à fait normale, étant donnée sa composition, elle est deux fois et demie moins active que l'uranium

Il devenait dès lors très probable que si la pechblende, la chalcolite, l'autunite ont une activité si forte, c'est que ces substances renferment en petite quantité une matiére fortement radioactive, différente de l'uranium, du thorium et des corps simples actuellement connus J'ai pensé que, s'il en était effectivement ainsi, je pouvais espérer extraire cette substance du minerai par les procédés ordinaires de l'analyse chimique

## Les Nouvelles Substances Radioactives

*Méthode de Recherches*—Les résultats de l'étude des minéraux radioactifs, énoncés dans le chapitre précédent, nous ont engagés, M Curie et moi, à chercher à extraire de la pechblende une

nouvelle substance radioactive. Notre méthode de recherches ne pouvait être basée que sur la radioactivité, puisque nous ne connaissions aucun autre caractère de la substance hypothétique Voici comment on peut se servir de la radioactivité pour une recherche de ce genre. On mesure la radioactivité d'un produit, on effectue sur ce produit une séparation chimique; on mesure la radioactivité de tous les produits obtenus, et l'on se rend compte[1] si la substance radioactive est restée intégralement avec l'un d'eux, ou bien si elle s'est partagée entre eux et en quelle proportion. On a ainsi une indication qui peut être comparée, en une certaine mesure, à celle que pourrait fournir l'analyse spectrale Pour avoir des nombres comparables, il faut mesurer l'activité des substances à l'état solide et bien desséchées

*Polonium, Radium, Actinium*—L'analyse de la pechblende, avec le concours de la méthode qui vient d'être exposée, nous a conduits à établir l'existence, dans ce minéral, de deux substances fortement radioactives, chimiquement différentes le polonium, trouvé par nous, et le radium, que nous avons découvert en collaboration avec M Bémont

Le polonium est une substance voisine du bismuth au point de vue analytique et l'accompagne dans les séparations On obtient du bismuth de plus en plus riche en polonium par l'un des procédés de fractionnement suivants

1° Sublimation des sulfures dans le vide, le sulfure actif est beaucoup plus volatil que le sulfure de bismuth

2° Précipitation des solutions azotiques par l'eau, le sous-nitrate précipité est beaucoup plus actif que le sel qui reste dissous.

3° Précipitation par l'hydrogène sulfuré d'une solution chlorhydrique extrêmement acide; les sulfures précipités sont considérablement plus actifs que le sel qui reste dissous.

Le radium est une substance qui accompagne le baryum retiré de la pechblende, il suit le baryum dans ses réactions et s'en sépare par différence de solubilité des chlorures dans l'eau, l'eau alcoolisée ou l'eau additionnée d'acide chlorhydrique. Nous effectuons la séparation des chlorures de baryum et de radium, en

[1] on se rend compte = one can judge, one can ascertain.

soumettant leur mélange à une cristallisation fractionnée, le chlorure de radium étant moins soluble que celui de baryum

Une troisième substance fortement radioactive a été caractérisée dans la pechblende par M. Debierne, qui lui a donné le nom d'actinium. L'actinium accompagne certains corps du groupe du fer contenus dans la pechblende; il semble surtout voisin du thorium dont il n'a pu encore être séparé. L'extraction de l'actinium de la pechblende est une opération très pénible, les séparations étant généralement incomplètes

Toutes les trois substances radioactives nouvelles se trouvent dans la pechblende en quantité absolument infinitésimale. Pour les obtenir à l'état concentré, nous avons été obligés d'entreprendre le traitement de plusieurs tonnes de résidus de minerai d'urane. Le gros traitement se fait dans une usine; il est suivi de tout un travail de purification et de concentration Nous arrivons ainsi à extraire de ces milliers de kilogrammes de matière première quelques décigrammes de produits qui sont prodigieusement actifs par rapport au minerai dont ils proviennent Il est bien évident que l'ensemble de ce travail est long, pénible et coûteux

D'autres substances radioactives nouvelles ont encore été signalées à la suite de notre travail M Giesel, d'une part, MM. Hoffman et Strauss, d'autre part, ont annoncé l'existence probable d'une substance radioactive voisine du plomb par ses propriétés chimiques. On ne possède encore que peu de renseignements sur cette substance

De toutes les substances radioactives nouvelles, le radium est, jusqu'à présent, la seule qui ait été isolée à l'état de sel pur.

*Spectre du Radium*—Il était de première importance de contrôler, par tous les moyens possibles, l'hypothèse, faite dans ce travail, de l'existence d'éléments nouveaux radioactifs L'analyse spectrale est venue, dans le cas du radium, confirmer d'une façon complète cette hypothèse.

M Demarçay a bien voulu se charger de[1] l'examen des substances radioactives nouvelles, par les procédés rigoureux qu'il emploie dans l'étude des spectres d'étincelle photographiés.

[1] se charger de = to undertake.

Le concours d'un savant aussi compétent a été pour nous un grand bienfait, et nous lui gardons une reconnaissance profonde d'avoir consenti à faire ce travail. Les résultats de l'analyse spectrale sont venus nous apporter la certitude, alors que nous étions encore dans le doute sur l'interpretation des résultats de nos recherches

Les premiers échantillons de chlorure de baryum radifère médiocrement actif, examinés par M Demarçay, lui montrèrent, en même temps que les raies du baryum, une raie nouvelle d'intensité notable et de longueur d'onde = 381 $\mu\mu$,47 dans le spectre ultra-violet Avec des produits plus actifs, préparés ensuite, Demarçay vit la raie 381 $\mu\mu$,47 se renforcer; en même temps d'autres raies nouvelles apparurent, et dans le spectre les raies nouvelles et les raies du baryum avaient des intensités comparables Une nouvelle concentration a fourni un produit, pour lequel le nouveau spectre domine, et les trois plus fortes raies du baryum, seules visibles, indiquent seulement la présence de ce métal à l'état d'impureté Ce produit peut être considéré comme du chlorure de radium à peu près pur Enfin j'ai pu, par une nouvelle purification, obtenir un chlorure extrêmement pur, dans le spectre duquel les deux raies dominantes du baryum sont à peine visibles

Voici, d'après Demarçay, la liste des raies principales du radium pour la portion du spectre comprise entre $\lambda = 500,0$ et $\lambda = 350,0$ millièmes de micron ($\mu\mu$) L'intensité de chaque raie est indiquée par un nombre, la plus forte raie étant marquée 16

| λ | Intensité | λ | Intensité |
|---|---|---|---|
| 482,63 | 10 | 460,03 | 3 |
| 472,69 | 5 | 453,35 | 9 |
| 469,98 | 3 | 443,61 | 8 |
| 469,21 | 7 | 434,06 | 12 |
| 468,30 | 14 | 381,47 | 16 |
| 464,19 | 4 | 364,96 | 12 |

Toutes les raies sont nettes et étroites, les trois raies 381,47, 468,30, et 434,06 sont fortes; elles atteignent l'égalité avec les raies les plus intenses actuellement connues On aperçoit également dans le spectre deux bandes nébuleuses fortes. La première, symétrique, s'étend de 463,10 à 462,19 avec maximum à 462,75. La deuxième, plus forte, est dégradée vers l'ultra-violet; elle

commence brusquement à 446,37, passe par un maximum à 445,-52, la région du maximum s'étend jusqu'à 445,34, puis une bande nébuleuse, graduellement dégradée, s'étend jusque vers 439

Dans la partie la moins réfrangible non photographiée du spectre d'étincelle, la seule raie notable est la raie 566,5 (environ), bien plus faible cependant que 482,63

L'aspect général du spectre est celui des métaux alcalino-terreux; on sait que ces métaux ont des spectres de raies fortes avec quelques bandes nébuleuses

D'après Demarçay, le radium peut figurer parmi les corps ayant la réaction spectrale la plus sensible J'ai, d'ailleurs, pu conclure, d'après mon travail de concentration, que, dans le premier échantillon examiné qui montrait nettement la raie 381,-47, la proportion de radium devait être très faible (peut-être 0,02 pour 100) Cependant, il faut une activité 50 fois plus grande que celle de l'uranium métallique pour apercevoir nettement la raie principale du radium dans les spectres photographiés Avec un électromètre sensible, on peut déceler la radioactivité d'un produit quand elle n'est que 1/100 de celle de l'uranium métallique On voit que, pour déceler la présence du radium, la radioactivité est un caractère plusieurs milliers de fois plus sensible que la réaction spectrale

Le bismuth à polonium très actif et le thorium à actinium très actif, examinés par M Demarçay, n'ont encore respectivement donné que les raies du bismuth et du thorium

Dans une publication récente, M Giesel, qui s'est occupé de la préparation du radium, annonce que le bromure de radium donne lieu à une coloration carmin de la flamme Le spectre de flamme du radium contient deux belles bandes rouges, une raie dans le bleu vert et deux lignes faibles dans le violet

*Extraction des Substances Radioactives Nouvelles*—La première partie de l'opération consiste à extraire des minerais d'urane le baryum radifère, le bismuth polonifère et les terres rares contenant l'actinium Ces trois premiers produits ayant été obtenus, on cherche, pour chacun d'eux, à isoler la substance radioactive nouvelle. Cette deuxième partie du traitement se fait par une méthode de fractionnement. On sait qu'il est difficile de trouver

un moyen de séparation très parfait entre des éléments très voisins; les méthodes de fractionnement sont donc tout indiquées. D'ailleurs, quand un élément se trouve mélangé à un autre à l'état de trace, on ne peut appliquer au mélange une méthode de séparation parfaite, même en admettant que l'on en connaisse une, on risquerait en effet, de perdre la trace de matière qui aurait pu être séparée dans l'opération.

Je me suis occupée spécialement du travail ayant pour but l'isolement du radium et du polonium Après un travail de quelques années, je n'ai encore réussi que pour le premier de ces corps.

La pechblende étant un minerai coûteux, nous avons renoncé à en traiter de grandes quantités. En Europe, l'extraction de ce minerai se fait dans la mine de Joachimsthal, en Bohême Le minerai broyé est grillé avec du carbonate de soude, et la matière résultant de ce traitement est lessivée d'abord à l'eau chaude, puis à l'acide sulfurique étendu La solution contient l'uranium qui donne à la pechblende sa valeur Le résidue insoluble est rejeté

Ce résidu contient des substances radioactives, son activité est 4 fois et demie plus grande que celle de l'uranium métallique Le gouvernement autrichiem, auquel appartient la mine, nous a gracieusement donné une tonne de ce résidu pour nos recherches, et a autorisé la mine à nous fournir plusieurs autres tonnes de cette matière

Il n'est guère facile de faire le premier traitement du résidu à l'usine par les mêmes procédés qu'au laboratoire M. Debierne a bien voulu étudier cette question et organiser le traitement dans l'usine Le point le plus important de la méthode qu'il a indiquée consiste à obtenir la transformation des sulfates en carbonates par l'ébullition de la matière avec une dissolution concentrée de carbonate de soude Ce procédé permet d'éviter la fusion avec le carbonate de soude

Le résidu contient principalement des sulfates de plomb et de chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer. On y trouve, en outre, en quantité plus ou moins grande, presque tous les métaux (cuivre, bismuth, zinc, cobalt, manganèse, nickel, vanadium, antimoine, thallium, terres rares, niobium, tantale, arsenic, baryum, etc ). Le radium se trouve, dans ce mélange, à

l'état de sulfate et en constitue le sulfate le moins soluble Pour le mettre en dissolution, il faut éliminer autant que possible l'acide sulfurique Pour cela, on commence par traiter le résidu par une solution concentrée et bouillante de soude ordinaire L'acide sulfurique combiné au plomb, à l'alumine, à la chaux, passe, en grande partie, en dissolution à l'état de sulfate de soude que l'on enlève par des lavages à l'eau La dissolution alcaline enlève en même temps du plomb, de la silice, de l'alumine La portion insoluble lavée à l'eau est attaquée par l'acide chlorhydrique ordinaire Cette opération désagrège complètement la matière et en dissout une grande partie. De cette dissolution on peut retirer le polonium et l'actinium, le premier est précipité par l'hydrogène sulfuré, le second se trouve dans les hydrates précipités par l'ammoniaque dans la dissolution séparée des sulfures et peroxydes Quant au radium, il reste dans la portion insoluble Cette portion est lavée à l'eau, puis traitée par une dissolution concentrée et bouillante de carbonate de soude S'il ne restait plus que peu de sulfates non attaqués, cette opération a pour effet de transformer complètement les sulfates de baryum et de radium en carbonates On lave alors la matière très complètement à l'eau, puis on l'attaque par l'acide chlorhydrique étendu exempt d'acide sulfurique La dissolution contient le radium, ainsi que du polonium et de l'actinium On la filtre et on la précipite par l'acide sulfurique. On obtient ainsi des sulfates bruts de baryum radifère contenant aussi de la chaux, du plomb, du fer et ayant aussi entraîné un peu d'actinium La dissolution contient encore un peu d'actinium et de polonium qui peuvent en être retirés comme de la première dissolution chlorhydrique.

On retire d'une tonne de résidu de 10 kg à 20 kg de sulfates bruts dont l'activité est de 30 à 60 fois plus grande que celle de l'uranium métallique On procède à leur purification Pour cela, on les fait bouillir avec du carbonate de soude et on les transforme en chlorures La dissolution est traitée par l'hydrogène sulfuré, ce qui donne une petite quantité de sulfures actifs contenant du polonium. On filtre la dissolution, on la peroxyde par l'action du chlore et on la précipite par de l'ammoniaque pure.

Les oxydes et hydrates précipités sont très actifs, et l'activité

est due à l'actinium. La dissolution filtrée est précipitée par le carbonate de soude. Les carbonates alcalino-terreux précipités sont lavés et transformés en chlorures

Ces chlorures sont évaporés à sec et lavés avec de l'acide chlorhydrique concentré pur. Le chlorure de calcium se dissout presque entièrement, alors que le chlorure de baryum radifère reste insoluble. On obtient ainsi, par tonne de matière première, 8 kg environ de chlorure de baryum radifère, dont l'activité est environ 60 fois plus grande que celle de l'uranium métallique. Ce chlorure est prêt pour le fractionnement

*Polonium* —Comme il a été dit plus haut, en faisant passer l'hydrogène sulfuré dans les diverses dissolutions chlorhydriques obtenues au cours de traitement, on précipite des sulfures actifs dont l'activité est due au polonium

Ces sulfures contiennent principalement du bismuth, un peu de cuivre et de plomb, ce dernier métal ne s'y trouve pas en forte proportion, parce qu'il a été en grande partie enlevé par la dissolution sodique, et parce que son chlorure est peu soluble L'antimoine et l'arsenic ne se trouvent dans les oxydes qu'en quantité minime, leurs oxydes ayant été dissous par la soude Pour avoir de suite des sulfures très actifs, on employait le procédé suivant. les dissolutions chlorhydriques très acides étaient précipitées par l'hydrogène sulfuré les sulfures qui se précipitent dans ces conditions sont très actifs, on les emploie pour la préparation du polonium, dans la dissolution il reste des substances dont la précipitation est incomplète en présence d'un excès d'acide chlorhydrique (bismuth, plomb, antimoine) Pour achever la précipitation, on étend la dissolution d'eau, on la traite à nouveau par l'hydrogène sulfuré et l'on obtient une seconde portion de sulfures beaucoup moins actifs que les premiers, et qui, généralement, ont été rejetés Pour la purification ultérieure des sulfures, on les lave au sulfure d'ammonium, ce qui enlève les traces restantes d'antimoine et d'arsenic Puis on les lave à l'eau additionnée d'azotate d'ammonium et on les traite par l'acide azotique étendu.

La dissolution n'est jamais complète; on obtient toujours un résidu insoluble plus ou moins important que l'on traite à nouveau

si on le juge utile La dissolution est réduite à un petit volume et précipitée soit par l'ammoniaque, soit par beaucoup d'eau. Dans les deux cas le plomb et le cuivre restent en dissolution; dans le second cas un peu de bismuth à peine actif reste dissous également.

Le précipité d'oxydes ou de sous-azotates est soumis à un fractionnement de la manière suivante on dissout le précipité dans l'acide azotique, on ajoute de l'eau à la dissolution, jusqu'à formation d'une quantité suffisante de précipité, pour cette opération il faut tenir compte de ce que le précipité ne se forme, quelquefois, qu'au bout d'un certain temps. On sépare le précipité du liquide surnageant, on le redissout dans l'acide azotique; sur les deux portions liquides ainsi obtenues on fait une précipitation par l'eau, et ainsi de suite On réunit les diverses portions en se basant sur leur activité, et l'on tâche de pousser la concentration aussi loin que possible On obtient ainsi une très petite quantité de matière dont l'activité est énorme, mais qui, néanmoins, n'a encore donné au spectroscope que les raies du bismuth

On a malheureusement peu de chances d'aboutir à l'isolement du polonium par cette voie La méthode de fractionnement qui vient d'être décrite présente de grandes difficultés, et il en est de même pour d'autres procédés de fractionnement par voie humide Quel que soit le procédé employé, il se forme avec la plus grande facilité des composés absolument insolubles dans les acides étendus ou concentrés.

Ces composés ne peuvent être redissous qu'en les ramenant préalablement à l'état métallique, par la fusion avec le cyanure de potassium, par exemple

Etant donné le nombre considérable des opérations à effectuer, cette circonstance constitue une difficulté énorme pour le progrès du fractionnement. Cet inconvénient est d'autant plus grave que le polonium est une substance qui, une fois retirée de la pechblende, diminue d'activité.

Cette baisse[1] d'activité est d'ailleurs lente; c'est ainsi qu'un échantillon de nitrate de bismuth à polonium a perdu la moitié de son activité en onze mois.

[1] baisse = lowering.

Aucune difficulté analogue ne se présente pour le radium. La radioactivité reste un guide fidèle pour la concentration, cette concentration elle-même ne présente aucune difficulté, et les progrès du travail ont pu, depuis le début, être constamment contrôlés par l'analyse spectrale.

Quand les phénomènes de la radioactivité induite, dont il sera question plus loin, ont été connus, il a paru naturel d'admettre que le polonium, qui ne donne que les raies du bismuth et dont l'activité diminue avec le temps, n'est pas un élément nouveau, mais du bismuth activé par le voisinage du radium dans la pechblende Je ne suis pas convaincue que cette manière de voir[1] soit exacte Au cours de mon travail prolongé sur le polonium, j'ai constaté des effets chimiques que je n'ai jamais observés ni avec le bismuth ordinaire, ni avec le bismuth activé par le radium Ces effets chimiques sont, en premier lieu, la formation extrêmement facile des composés insolubles dont j'ai parlé plus haut (spécialement sous-nitrates), en deuxième lieu, la couleur et l'aspect des précipités obtenus en ajoutant de l'eau à la solution azotique du bismuth polonifère Ces précipités sont parfois blancs, mais plus généralement d'un jaune plus ou moins vif, allant au rouge foncé

L'absence de raies, autres que celles du bismuth, ne prouve pas péremptoirement que la substance ne contient que du bismuth, car il existe des corps dont la réaction spectrale est peu sensible. Il serait nécessaire de préparer une petite quantité de bismuth polonifère à l'état de concentration aussi avancé que possible, et d'en faire l'étude chimique, en premier lieu, la détermination du poids atomique du métal Cette recherche n'a encore pu être faite à cause des difficultés de travail chimique signalées plus haut

S'il était démontré que le polonium est un élément nouveau, il n'en serait pas moins vrai que cet élément ne peut exister indéfiniment à l'état fortement radioactif, tout au moins quand il est retiré du minerai. On peut alors envisager la question de deux manières différentes: 1° ou bien[2] toute l'activité du polonium est de la radioactivité induite par le voisinage de substances radioactives par elles-mêmes; le polonium aurait alors la faculté

[1] cette manière de voir = this point of view.

[2] ou bien = either.

de s'activer atomiquement d'une façon durable, faculté qui ne semble pas appartenir à une substance quelconque; 2° ou bien l'activité du polonium est une activité propre qui se détruit spontanément dans certaines conditions et peut persister dans certaines autres conditions qui se trouvent réalisées dans le minerai. Le phénomène de l'activité atomique au contact est encore si mal connu, que l'on manque de base pour se former une opinion cohérente sur ce qui touche à cette question.

Tout récemment a paru un travail de M. Marckwald sur le polonium. M. Marckwald plonge une baguette de bismuth pur dans une solution chlorhydrique du bismuth extrait du résidu de traitement de la pechblende. Au bout de quelque temps la baguette se recouvre d'un dépôt très actif, et la solution ne contient plus que du bismuth inactif. M. Marckwald obtient aussi un dépôt très actif en ajoutant du chlorure d'étain à une solution chlorhydrique de bismuth radioactif. M. Marckwald conclut de là que l'élément actif est analogue au tellure et lui donne le nom de radiotellure. La matière active de M. Marckwald semble identique au polonium, par sa provenance et par les rayons très absorbables qu'elle émet. Le choix d'un nom nouveau pour cette matière est certainement inutile dans l'état actuel de la question.

*Préparation du Chlorure de Radium Pur.*—Le procédé que j'ai adopté pour extraire le chlorure de radium pur du chlorure de baryum radifère consiste à soumettre le mélange des chlorures à une cristallisation fractionnée dans l'eau pure d'abord, dans l'eau additionnée d'acide chlorhydrique pur ensuite. On utilise ainsi la différence des solubilités des deux chlorures, celui de radium étant moins soluble que celui de baryum.

Au début du fractionnement on emploie l'eau pure distillée. On dissout le chlorure et l'on amène la dissolution à être saturée à la température de l'ébullition, puis on laisse cristalliser par refroidissement dans une capsule couverte. Il se forme alors au fond de beaux cristaux adhérents, et la dissolution saturée, surnageante, peut être facilement décantée. Si l'on évapore à sec un échantillon de cette dissolution, on trouve que le chlorure obtenu est environ cinq fois moins actif que celui qui a cristallisé. On a ainsi partagé le chlorure en deux portions. A et B, la por-

tion A étant beaucoup plus active que la portion B. On recommence sur chacun des chlorures A et B la même opération, et l'on obtient, avec chacun d'eux, deux portions nouvelles. Quand la cristallisation est terminée, on réunit ensemble la fraction la moins active du chlorure B, ces deux matières ayant sensiblement la même activité On se trouve alors avoir trois portions que l'on soumet à nouveau au même traitement.

On ne laisse pas augmenter constamment le nombre des portions A mesure que ce nombre augmente, l'activité de la portion la plus soluble va en diminuant. Quand cette portion n'a plus qu'une activité insignifiante, on l'élimine du fractionnement. Quand on a obtenu le nombre de portions que l'on désire, on cesse aussi de fractionner la portion la moins soluble (la plus riche en radium), et on l'élimine du fractionnement

On opère avec un nombre constant de portions Après chaque série d'opérations, la solution saturée provenant d'une portion est versée sur les cristaux provenant de la portion suivante, mais, si, après l'une des séries, on a éliminé la fraction la plus soluble, après la série suivante on fera, au contraire, une nouvelle portion avec la fraction la plus soluble, et l'on éliminera les cristaux qui constituent la portion la plus active Par la succession alternative de ces deux modes opératoires on obtient un mécanisme de fractionnement très régulier, dans lequel le nombre des portions et l'activité de chacune d'elles restent constants, chaque portion étant environ cinq fois plus active que la suivante, et dans lequel on élimine d'un côté (à la tête) un chlorure enrichi en radium La quantité de matière contenue dans les portions va, d'ailleurs, nécessairement en diminuant, et les portions diverses contiennent d'autant moins de matière qu'elles sont plus actives

On opérait au début avec six portions, et l'activité du chlorure éliminé à la queue n'était que 0,1 de celle de l'uranium

Quand on a ainsi éliminé en grande partie la matière inactive et que les portions sont devenues petites, on n'a plus intérêt à éliminer à une activité aussi faible; on supprime alors une portion à la queue du fractionnement et l'on ajoute à la tête une portion formée avec le chlorure actif précédemment recueilli. On

recueillera donc maintenant un chlorure plus riche en radium que précédemment.

On continue à appliquer ce système jusqu'à ce que les cristaux de tête représentent du chlorure de radium pur.

Si le fractionnement a été fait d'une façon très complète, il reste à peine de très petites quantités de tous les produits intermédiaires.

Quand le fractionnement est avancé et que la quantité de matière est devenue faible dans chaque portion, la séparation par cristallisation est moins efficace, le refroidissement étant trop rapide et le volume de solution à décanter trop petit. On a alors intérêt à additionner l'eau d'une proportion déterminée d'acide chlorhydrique; cette proportion devra aller en croissant à mesure que le fractionnement avance.

L'avantage de cette addition consiste à augmenter la quantité de la dissolution, la solubilité des chlorures étant moindre dans l'eau chlorhydrique que dans l'eau pure. De plus, le fractionnement est alors très efficace, la différence entre les deux fractions provenant d'un même produit est considérable; en employant de l'eau avec beaucoup d'acide, on a d'excellentes séparations, et l'on peut opérer avec trois ou quatre portions seulement. On a tout avantage à employer ce procédé aussitôt que la quantité de matière est devenue assez faible pour que l'on puisse opérer ainsi sans inconvénients.

Les cristaux, qui se déposent en solution très acide, ont la forme d'aiguilles très allongées, qui ont absolument le même aspect pour le chlorure de baryum et pour le chlorure de radium. Les uns et les autres sont biréfringents.

Les cristaux de chlorure de baryum radifère se déposent incolores, mais, quand la proportion de radium devient suffisante, ils prennent au bout de quelques heures une coloration jaune, allant à l'orangé, quelquefois une belle coloration rose. Cette coloration disparaît par la dissolution.

Les cristaux de chlorure de radium pur ne se colorent pas, ou tout au moins[1] pas aussi rapidement, de sorte que la coloration paraît due à la présence simultanée du baryum et de radium. Le

[1] tout au moins = at least

maximum de coloration est obtenu pour une certaine concentration en radium, et l'on peut, en se basant sur cette propriété, contrôler les progrès du fractionnement.

Tant que la portion la plus active se colore, elle contient une quantité notable de baryum; quand elle ne se colore plus, et que les portions suivantes se colorent, c'est que la première est sensiblement du chlorure de radium pur.

J'ai remarqué parfois la formation d'un dépôt composé de cristaux dont une partie restait incolore, alors que l'autre partie se colorait. Il semblait possible de séparer les cristaux incolores par triage, ce qui n'a pas été essayé

A la fin du fractionnement, le rapport des activités des portions successives n'est ni le même, ni aussi régulier qu'au début; toutefois, il ne produit aucun trouble sérieux dans la marche du fractionnement.

La précipitation fractionnée d'une solution aqueuse de chlorure de baryum radifère par l'alcool conduit aussi à l'isolement du chlorure de radium qui se précipite en premier. Cette méthode que j'employais au début a été ensuite abandonnée pour celle qui vient d'être exposée et qui offre plus de régularité

Cependant, j'ai encore quelquefois employé la précipitation par l'alcool pour purifier le chlorure de radium qui contient une petite quantité de chlorure de baryum. Ce dernier reste dans la dissolution alcoolique légèrement aqueuse et peut ainsi être enlevé

M Giesel, qui, dès la publication de nos premières recherches, s'est occupé de la préparation des corps radioactifs, recommande la séparation du baryum et du radium par la cristallisation fractionnée dans l'eau du mélange des bromures J'ai pu constater que ce procédé est en effet très avantageux, surtout au début du fractionnement

Quel que soit le procédé de fractionnement dont on se sert, il est utile de le contrôler par des mesures d'activité

Il est nécessaire de remarquer qu'un composé de radium qui était dissous, et que l'on vient de ramener à l'état solide, soit par précipitation, soit par cristallisation, possède au début une activité d'autant moins grande qu'il est resté plus longtemps en dissolution. L'activité augmente ensuite pendant plusieurs mois

pour atteindre une certaine limite, toujours la même. L'activité finale est cinq ou six fois plus élevée que l'activité initiale. Ces variations, sur lesquelles je reviendrai plus loin, doivent être prises en considération pour la mesure de l'activité. Bien que l'activité finale soit mieux définie, il est plus pratique, au cours d'un traitement chimique, de mesurer l'activité initiale du produit solide

L'activité des substances fortement radioactives est d'un tout autre ordre de grandeur que celle du minerai dont elles proviennent (elle est $16^6$ fois plus grande). Quand on mesure cette radioactivité par la méthode qui a été exposée au début de ce travail, on ne peut pas augmenter, au delà d'une certaine limite, la charge que l'on met dans le plateau du quartz Cette charge, dans nos expériences, était de 4000 g. au maximum, correspondant à une quantité d'électricité dégagée égale à 25 unités électrostatiques. Nous pouvons mesurer des activités qui varient, dans le rapport de 1 à 4000, en employant toujours la même surface pour la substance active Pour étendre les limites des mesures, nous faisons varier cette surface dans un rapport connu La substance active occupe alors sur le plateau B une zone circulaire centrale de rayon connu L'activité n'étant pas, dans ces conditions, exactement proportionnelle à la surface, on détermine expérimentalement des coefficients qui permettent de comparer les activités à surface active inégale

Quand cette ressource elle-même est épuisée, on est obligé d'avoir recours à l'emploi d'écrans absorbants et à d'autres procédés équivalents sur lesquels je n'insisterai pas ici

Tous ces procédés, plus ou moins imparfaits, suffisent cependant pour guider les recherches.

Nous avons aussi mesuré le courant qui traverse le condensateur quand il est mis en circuit avec une batterie de petits accumulateurs et un galvanomètre sensible. La nécessité de vérifier fréquemment la sensibilité du galvanomètre nous a empêchés d'employer cette méthode pour les mesures courantes.

*Détermination du Poids Atomique du Radium* —Au cours de mon travail, j'ai, à plusieurs reprises, déterminé le poids atomique du métal contenu dans des échantillons de chlorure de baryum

radifère Chaque fois qu'à la suite d'un nouveau traitement j'avais une nouvelle provision de chlorure de baryum radifère à traiter, je poussais la concentration aussi loin que possible, de façon à obtenir de 0,1 gr à 0,5 gr. de matière contenant presque toute l'activité du mélange. De cette petite quantité de matière je précipitais par l'alcool ou l'acide chlorhydrique quelques milligrammes de chlorure qui étaient destinés à l'analyse spectrale.

Grâce à son excellente méthode, Demarçay n'avait besoin que de cette quantité minime de matière pour obtenir la photographie du spectre de l'étincelle. Sur le produit qui me restait je faisais une détermination de poids atomique

J'ai employé la méthode classique qui consiste à doser, à l'état de chlorure d'argent, le chlore contenu dans un poids connu de chlorure anhydre Comme expérience de contrôle, j'ai déterminé le poids atomique du baryum par la même méthode, dans les mêmes conditions et avec la même quantité de matière, 0,5 gr d'abord, 0,1 gr seulement ensuite Les nombres trouvés étaient toujours compris entre 137 et 138 J'ai vu ainsi que cette méthode donne des résultats satisfaisants, même avec une aussi faible quantité de matière

Les deux premières déterminations ont été faites avec des chlorures, dont l'un était 230 fois et l'autre 600 fois plus actif que l'uranium. Ces deux expériences ont donné à la précision des mesures près, le même nombre que l'expérience faite avec le chlorure de baryum pur On ne pouvait donc espérer de trouver une différence qu'en employant un produit beaucoup plus actif L'expérience suivante a été faite avec un chlorure dont l'activité était environ 3500 fois plus grande que celle de l'uranium; cette expérience permit, pour la première fois, d'apercevoir une différence petite, mais certaine; je trouvais, pour le poids atomique moyen du métal contenu dans ce chlorure, le nombre 140, qui indiquait que le poids atomique du radium devait être plus élevé que celui du baryum. En employant des produits de plus en plus actifs et présentant le spectre du radium avec une intensité croissante, je constatais que les nombres obtenus allaient aussi en croissant, comme on peut le voir dans le tableau suivant (A indique l'activité du chlorure, celle de l'uranium étant prise comme unité; M le poids atomique trouvé) :

| A | M | |
|---|---|---|
| 3500 | 140 | le spectre du radium est très faible |
| 4700 | 141 | |
| 7500 | 145,8 | le spectre du radium est fort, mais celui du baryum domine de beaucoup[1] |
| Ordre de grandeur | 173,8 | les deux spectres ont une importance à peu près égale |
| $10^4$ | 225 | le baryum n'est présent qu'à l'état de trace |

Les nombres de la colonne A ne doivent être considérés que comme une indication grossière. L'appréciation de l'activité des corps fortement radioactifs est, en effet, difficile, pour diverses raisons dont il sera question plus loin.

A la suite des traitements décrits plus haut j'ai obtenu, en mars 1902, 0,12 gr d'un chlorure de radium, dont Demarçay a bien voulu faire l'analyse spectrale. Ce chlorure de radium, d'après l'opinion de Demarçay, était sensiblement pur, cependant son spectre présentait encore les trois raies principales du baryum avec une intensité notable

J'ai fait avec ce chlorure quatre déterminations successives dont voici les résultats:

| | Chlorure de radium anhydre | Chlorure d'argent | M |
|---|---|---|---|
| I | 0,1150 | 0,1130 | 220,7 |
| II | 0,1148 | 0,1119 | 223,0 |
| III | 0,11135 | 0,1086 | 222,8 |
| IV | 0,10925 | 0,10645 | 223,1 |

J'ai entrepris alors une nouvelle purification de ce chlorure, et je suis arrivée à obtenir une matière beaucoup plus pure encore, dans le spectre de laquelle les deux raies les plus fortes du baryum sont très faibles. Etant donnée la sensibilité de la réaction spectrale du baryum, Demarçay estime que ce chlorure purifié ne contient que "des traces minimes de baryum incapables d'influencer d'une façon appréciable le poids atomique" J'ai fait trois déterminations avec ce chlorure de radium parfaitement pur Voici les résultats:

| | Chlorure de radium anhydre | Chlorure d'argent | M |
|---|---|---|---|
| I | 0,09192 | 0,08890 | 225,3 |
| II | 0,08936 | 0,08627 | 225,8 |
| III | 0,08839 | 0,08589 | 224,0 |

Ces nombres donnent une moyenne de 225 Ils ont été calculés, de même que les précédents, en considérant le radium comme un élément bivalent, dont le chlorure a la formule $RaCl_2$, et en

[1] de beaucoup = by far

adoptant pour l'argent et le chlore les nombres Ag = 107,8; Cl = 35,4.

Il résulte de ces expériences que le poids atomique du radium est Ra = 225. Je considère ce nombre comme exact à une unité près [1]

Les pesées étaient faites avec une balance apériodique Curie, parfaitement réglée, précise au vingtième de milligramme Cette balance, à lecture directe, permet de faire des pesées très rapides, ce qui est une condition essentielle pour la pesée des chlorures anhydres de radium et de barium, qui absorbent lentement de l'eau, malgré la présence de corps desséchants dans la balance. Les matières à peser étaient placées dans un creuset de platine; ce creuset était en usage depuis longtemps, et j'ai vérifié que son poids ne variait pas d'un dixième de milligramme au cours d'une opération

Le chlorure hydraté obtenu par cristallisation était introduit dans le creuset et chauffé à l'étuve pour être transformé en chlorure anhydre L'expérience montre que, lorsque le chlorure a été maintenu quelques heures à 100°, son poids ne varie plus, même lorsqu'on fait monter la température à 200° et qu'on l'y maintient pendant quelques heures Le chlorure anhydre ainsi obtenu constitue donc un corps parfaitement défini

Voici une série de mesures relatives à ce sujet: le chlorure (1 dg ) est séché à l'étuve à 55° et placé dans un exsiccateur sur de l'acide phosphorique anhydre, il perd alors du poids très lentement, ce qui prouve qu'il contient encore de l'eau, pendant 12 heures, la perte a été de 3 mg

On reporte le chlorure dans l'étuve et on laisse la température monter à 100°. Pendant cette opération, le chlorure perd 6,3 mg Laissé dans l'étuve pendant 3 heures 15 minutes, il perd encore 2,5 mg On maintient la température pendant 45 minutes entre 100° et 120°, ce qui entraîne une perte de poids de 0,1 mg Laissé ensuite 30 minutes à 150°, il perd 0,1 mg. Enfin chauffé pendant 4 heures à 200°, il éprouve une perte de poids de 0,15 mg Pendant toutes ces opérations, le creuset a varié de 0,05 mg

Après chaque détermination de poids atomique, le radium était ramené à l'état de chlorure de la manière suivante: la liqueur

[1] à une unité près = to within one unit

contenant après le dosage l'azotate de radium et l'azotate d'argent en excès était additionnée d'acide chlorhydrique pur; on séparait le chlorure d'argent par filtration; la liqueur était évaporée à sec plusieurs fois avec un excès d'acide chlorhydrique pur L'expérience montre qu'on peut ainsi éliminer l'acide azotique complètement

Le chlorure d'argent du dosage était toujours radioactif et lumineux. Je me suis assurée qu'il n'avait pas entraîné de quantité pondérable de radium, en déterminant la quantité d'argent qui y était contenue. A cet effet, le chlorure d'argent fondu contenu dans le creuset était réduit par l'hydrogène résultant de la décomposition de l'acide chlorhydrique étendu par le zinc, après lavage, le creuset était pesé avec l'argent métallique qui y était contenu.

J'ai constaté également, dans une expérience, que le poids du chlorure de radium régénéré était retrouvé le même qu'avant l'opération Dans d'autres expériences, je n'attendais pas, pour commencer une nouvelle opération, que toutes les eaux de lavage fussent évaporées

Ces vérifications ne comportent pas la même précision que les expériences directes, elles ont permis toutefois de s'assurer qu'aucune erreur notable n'a été commise.

D'après ses propriétés chimiques, le radium est un élément de la série alcalino-terreux Il est dans cette série l'homologue supérieur du baryum

D'après son poids atomique, le radium vient se placer également, dans le Tableau de Mendeleeff, à la suite du baryum dans la colonne des métaux alcalino-terreux et sur la rangée qui contient déjà l'uranium et le thorium

*Caractères des Sels de Radium* —Les sels de radium: chlorure, azotate, carbonate, sulfate, ont le même aspect que ceux de baryum, quand ils viennent d'être préparés à l'état solide, mais tous les sels de radium se colorent avec le temps.

Les sels de radium sont tous lumineux dans l'obscurité.

Par leurs propriétés chimiques, les sels de radium sont absolument analogues aux sels correspondants de baryum. Cependant le chlorure de radium est moins soluble que celui de baryum, la solubilité des azotates dans l'eau semble être sensiblement la même.

Les sels de radium sont le siège d'un dégagement de chaleur spontané et continu.

Le chlorure de radium pur est paramagnétique Son coefficient d'aimantation spécifique K a été mesuré par MM. P Curie et C. Chéneveau au moyen d'un appareil établi par ces deux physiciens. Ce coefficient a été mesuré par comparaison avec celui de l'eau et corrigé de l'action du magnétisme de l'air

On a trouvé ainsi

$$K = 1,05 \; 10^{-6},$$

en admettant que l'on a pour l'eau $K = -0,79 \; 10^{-6}$.

Le chlorure de baryum pur est diamagnétique et son coefficient d'aimantation spécifique est

$$K = -0,40 \; 10^{-6}.$$

On trouve d'ailleurs, conformément aux résultats précédents, qu'un chlorure de baryum radifère, contenant environ 17 pour 100 de chlorure de radium et 83 pour 100 de chlorure de baryum, est diamagnétique et possède un coefficient d'aimantation spécifique $K = -0,20 \; 10^{-6}$.

*Fractionnement du Chlorure de Baryum Ordinaire*—Nous avons cherché à nous assurer si le chlorure de baryum du commerce ne contenait pas de petites quantités de chlorure de radium inappréciables à notre appareil de mesures Pour cela, nous avons entrepris le fractionnement d'une grande quantité de chlorure de baryum du commerce, espérant concentrer par ce procédé la trace de chlorure de radium si elle s'y trouvait

50 kg. de chlorure de baryum du commerce ont été dissous dans l'eau; la dissolution a été précipitée par de l'acide chlorhydrique exempt d'acide sulfurique, ce qui a fourni 20 kg de chlorure précipité. Celui-ci a été dissous dans l'eau et précipité partiellement par l'acide chlorhydrique, ce qui a donné 8,5 kg. de chlorure précipité. Ce chlorure a été soumis à la méthode de fractionnement employée pour le chlorure de baryum radifère, et l'on a éliminé à la tête du fractionnement 10 gr. de chlorure correspondant à la portion la moins soluble. Ce chlorure ne montrait aucune radioactivité dans notre appareil de mesures; il ne contenait donc pas de radium; ce corps est, par suite, absent des minerais qui fournissent le baryum.

# TABLE OF IRREGULAR VERBS

n, abbreviation for nous, we, v, abbreviation for vous, you

| Infinitive | Present Participle | Past Participle | Present | | Imperfect | Preterit | Future | Subjunctive Present | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| abstenir = to abstain | abstenant | abstenu | j'abstiens<br>il abstient | n abstenons<br>v abstenez<br>ils abstiennent | j' abstenais | j'abstins | j'abstiendrai | j'abstienne<br>il abstienne | n abstenions<br>v absteniez<br>ils abstiennent |
| abstraire = to abstract | abstrayant | abstrait | j'abstrais<br>il abstrait | n abstrayons<br>v abstrayez<br>ils abstraient | j'abstrayais | | j'abstrairai | j'abstraie<br>il abstraie | n abstrayions<br>v abstrayiez<br>ils abstraient |
| acquérir = to acquire | acquérant | acquis | j'acquiers<br>il acquiert | n acquérons<br>v acquérez<br>ils acquièrent | j'acquérais | j'acquis | j'acquerrai | j'acquière<br>il acquière | n acquérions<br>v acquériez<br>ils acquièrent |
| admettre = to admit | admettant | admis | j admets<br>il admet | n admettons<br>v admettez<br>ils admettent | j'admettais | j'admis | j'admettrai | j'admette<br>il admette | n admettions<br>v admettiez<br>ils admettent |
| aller = to go | allant | allé | je vais<br>il va | n allons<br>v allez<br>ils vont | j'allais | j'allai | j'irai | j'aille<br>il aille | n allions<br>v alliez<br>ils aillent |
| apercevoir = to perceive | apercevant | aperçu | j'aperçois<br>il aperçoit | n apercevons<br>v apercevez<br>ils aperçoivent | j'apercevais | j'aperçus | j'apercevrai | j'aperçoive<br>il aperçoive | n apercevions<br>v aperceviez<br>ils aperçoivent |
| apparaître = to appear | apparaissant | apparu | j apparais<br>il apparaît | n apparaissons<br>v apparaissez<br>ils apparaissent | j'apparaissais | j'apparus | j'apparaîtrai | j'apparaisse<br>il apparaisse | n apparaissions<br>v apparaissiez<br>ils apparaissent |
| apprendre = to learn | apprenant | appris | j apprends<br>il apprend | n apprenons<br>v apprenez<br>ils apprennent | j apprenais | j'appris | j'apprendrai | j'apprenne<br>il apprenne | n apprenions<br>v appreniez<br>ils apprennent |
| atteindre = to attain | atteignant | atteint | j'atteins<br>il atteint | n atteignons<br>v atteignez<br>ils atteignent | j'atteignais | j'atteignis | j'atteindrai | j'atteigne<br>il atteigne | n atteignions<br>v atteigniez<br>ils atteignent |
| avoir = to have | ayant | eu | j'ai<br>il a | n avons<br>v avez<br>ils ont | j'avais | j'eus | j'aurai | j'aie<br>il ait | n ayons<br>v ayez<br>ils aient |

## TABLE OF IRREGULAR VERBS—*(Continued)*

| Infinitive | Present Participle | Past Participle | Present | | Imperfect | Preterit | Future | Subjunctive Present | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| boire = to drink | buvant | bu | je bois<br>il boit | n buvons<br>v buvez<br>ils boivent | je buvais | je bus | je boirai | je boive<br>il boive | n buvions<br>v buviez<br>ils boivent |
| bouillir = to boil | bouillant | bouilli | il bout | ils bouillent | il bouillait | | il bouillira | il bouille | ils bouillent |
| commettre = to commit | commettant | commis | je commets<br>il commet | n commettons<br>v commettez<br>ils commettent | je commettais | je commis | je commettrai | je commette<br>il commette | n commettions<br>v commettiez<br>ils commettent |
| comprendre = to understand | comprenant | compris | je comprends<br>il comprend | n comprenons<br>v comprenez<br>ils comprennent | je comprenais | je compris | je comprendrai | je comprenne<br>il comprenne | n comprenions<br>v compreniez<br>ils comprennent |
| concevoir = to conceive | concevant | conçu | je conçois<br>il conçoit | n concevons<br>v concevez<br>ils conçoivent | je concevais | je conçus | je concevrai | je conçoive<br>il conçoive | n concevions<br>v conceviez<br>ils conçoivent |
| conclure = to conclude | concluant | conclu | je conclus<br>il conclut | n concluons<br>v concluez<br>ils concluent | je concluais | je conclus | je conclurai | je conclue<br>il conclue | n concluions<br>v concluiez<br>ils concluent |
| conduire = to conduct | conduisant | conduit | je conduis<br>il conduit | n conduisons<br>v conduisez<br>ils conduisent | je conduisais | je conduisis | je conduirai | je conduise<br>il conduise | n conduisions<br>v conduisiez<br>ils conduisent |
| connaître = to know | connaissant | connu | je connais<br>il connaît | n connaissons<br>v connaissez<br>ils connaissent | je connaissais | je connus | je connaîtrai | je connaisse<br>il connaisse | n connaissions<br>v connaissiez<br>ils connaissent |
| construire = to construct | construisant | construit | je construis<br>il construit | n construisons<br>v construisez<br>ils construisent | je construisais | je construi-<br>sis | je construirai | je construise<br>il construise | n construisions<br>v construisiez<br>ils construisent |
| contenir = to contain | contenant | contenu | je contiens<br>il contient | n contenons<br>v contenez<br>ils contiennent | je contenais | je contins | je contiendrai | je contienne<br>il contienne | n contenions<br>v conteniez<br>ils contiennent |

## TABLE OF IRREGULAR VERBS—(*Continued*)

| Infinitive | Present Participle | Past Participle | Present | | Imperfect | Preterit | Future | Subjunctive Present | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| contraindre = to constrain | contraignant | contraint | je contrains<br>il contraint | n contraignons<br>v contraignez<br>ils contraignent | je contraignais | je contraignis | je contraindrai | je contraigne<br>il contraigne | n contraignions<br>v contraigniez<br>ils contraignent |
| convaincre = to convince | convainquant | convaincu | je convaincs<br>il convainc | n convainquons<br>v convainquez<br>ils convainquent | je convainquais | je convainquis | je convaincrai | je convainque<br>il convainque | n, convainquions<br>v convainquiez<br>ils convainquent |
| convenir = to suit<br>to agree | convenant | convenu | je conviens<br>il convient | n convenons<br>v convenez<br>ils conviennent | je convenais | je convins | je conviendrai | je convienne<br>il convienne | n convenions<br>v conveniez<br>ils conviennent |
| courir = to run | courant | couru | je cours<br>il court | n courons<br>v courez<br>ils courent | je courais | je courus | je courrai | je coure<br>il coure | n courions<br>v couriez<br>ils courent |
| couvrir = to cover | couvrant | couvert | je couvre<br>il couvre | n couvrons<br>v couvrez<br>ils couvrent | je couvrais | je couvris | je couvrirai | je couvre<br>il couvre | n couvrions<br>v couvriez<br>ils couvrent |
| craindre = to fear | craignant | craint | je crains<br>il craint | n craignons<br>v craignez<br>ils craignent | je craignais | je craignis | je craindrai | je craigne<br>il craigne | n craignions<br>v craigniez<br>ils craignent |
| croire = to believe | croyant | cru | je crois<br>il croit | n croyons<br>v croyez<br>ils croient | je croyais | je crus | je croirai | je croie<br>il croie | n croyions<br>v croyiez<br>ils croient |
| croître = to grow | croissant | crû | je croîs<br>il croît | n croissons<br>v croissez<br>ils croissent | je croissais | je crûs | je croîtrai | je croisse<br>il croisse | n croissions<br>v croissiez<br>ils croissent |
| découvrir = to discover | découvrant | découvert | je découvre<br>il découvre | n découvrons<br>v découvrez<br>ils découvrent | je découvrais | je découvris | je découvrirai | je découvre<br>il découvre | n découvrions<br>v. découvriez<br>ils découvrent |
| décroître = to decrease | décroissant | décrû | je décroîs<br>il décroît | n décroissons<br>v décroissez<br>ils décroissent | je décroissais | je décrûs | je décroîtrai | je décroisse<br>il décroisse | n décroissions<br>v décroissiez<br>ils décroissent |

## TABLE OF IRREGULAR VERBS—(*Continued*).

| Infinitive | Present Participle | Past Participle | Present | | Imperfect | Preterit | Future | Subjunctive Present | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **déduire** = to deduct | déduisant | déduit | je déduis<br>il déduit | n déduisons<br>v déduisez<br>ils déduisent | je déduisais | je déduisis | je déduirai | je déduise<br>il déduise | n déduisions<br>v déduisiez<br>ils déduisent |
| **détruire** = to destroy | détruisant | détruit | je détruis<br>il détruit | n détruisons<br>v détruisez<br>ils détruisent | je détruisais | je détruisis | je détruirai | je détruise<br>il détruise | n détruisions<br>v détruisiez<br>ils détruisent |
| **devenir** = to become | devenant | devenu | je deviens<br>il devient | n devenons<br>v devenez<br>ils deviennent | je devenais | je devins | je deviendrai | je devienne<br>il devienne | n devenions<br>v deveniez<br>ils deviennent |
| **devoir** = to owe<br>must, etc | devant | dû | je dois<br>il doit | n devons<br>v devez<br>ils doivent | je devais | je dus | je devrai | je doive<br>il doive | n devions<br>v deviez<br>ils doivent |
| **dire** = to say<br>to tell | disant | dit | je dis<br>il dit | n disons<br>v dites<br>ils disent | je disais | je dis | je dirai | je dise<br>il dise | n disions<br>v disiez<br>ils disent |
| **disparaître** = to disappear | disparaissant | disparu | je disparais<br>il disparaît | n disparaissons<br>v disparaissez<br>ils disparaissent | je disparaissais | je disparus | je disparaîtrai | je disparaisse<br>il disparaisse | n disparaissions<br>v disparaissiez<br>ils disparaissent |
| **dissoudre** = to dissolve | dissolvant | dissous | je dissous<br>il dissout | n dissolvons<br>v dissolvez<br>ils dissolvent | je dissolvais | | je dissoudrai | je dissolve<br>il dissolve | n dissolvions<br>v dissolviez<br>ils dissolvent |
| **écrire** = to write | écrivant | écrit | j'écris<br>il écrit | n écrivons<br>v écrivez<br>ils écrivent | j'écrivais | j'écrivis | j'écrirai | j'écrive<br>il écrive | n écrivions<br>v écriviez<br>ils écrivent |
| **émettre** = to emit | émettant | émis | j émets<br>il émet | n émettons<br>v émettez<br>ils émettent | j émettais | j'émis | j'émettrai | j'émette<br>il émette | n émettions<br>v émettiez<br>ils émettent |
| **entreprendre** = to<br>undertake | entreprenant | entrepris | j entreprends<br>il entreprend | n entreprenons<br>v entreprenez<br>ils entreprennent | j'entreprenais | j'entrepris | j'entre-<br>prendrai | j'entreprenne<br>il entreprenne | n entreprenions<br>v entrepreniez<br>ils enterprennent |

# TABLE OF IRREGULAR VERBS—*(Continued)*

| Infinitive | Present Participle | Past Participle | Present | | Imperfect | Preterit | Future | Subjunctive Present | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **entretenir** = to entertain to keep up | entretenant | entretenu | j'entretiens<br>il entretient | n entretenons<br>v entretenez<br>ils entretiennent | j'entretenais | j'entretins | j'entretiendrai | j'entretienne<br>il entretienne | n entretenions<br>v entreteniez<br>ils entretiennent |
| **envoyer** = to send | envoyant | envoyé | j'envoie<br>il envoie | n envoyons<br>v envoyez<br>ils envoient | j'envoyais | j'envoyai | j'enverrai | j'envoie<br>il envoie | n envoyions<br>v envoyiez<br>ils envoient |
| **être** = to be | étant | été | je suis<br>il est | n sommes<br>v êtes<br>ils sont | j'étais | je fus | je serai | je sois<br>il soit | n soyons<br>v soyez<br>ils soient |
| **exclure** = to exclude | excluant | exclu | j'exclus<br>il exclut | n excluons<br>v excluez<br>ils excluent | j'excluais | j'exclus | j'exclurai | j'exclue<br>il exclue | n excluions<br>v excluiez<br>ils excluent |
| **extraire** = to extract | extrayant | extrait | j'extrais<br>il extrait | n extrayons<br>v extrayez<br>ils extraient | j'extrayais | | j'extrairai | j'extraie<br>il extraie | n extrayions<br>v extrayiez<br>ils extraient |
| **faire** = to do, to make | faisant | fait | je fais<br>il fait | n faisons<br>v faites<br>ils font | je faisais | je fis | je ferai | je fasse<br>il fasse | n fassions<br>v fassiez<br>ils fassent |
| **falloir** = to be necessary | fallant | fallu | il faut | | il fallait | il fallut | il faudra | | |
| **intervenir** = to intervene | intervenant | intervenu | j'interviens<br>il intervient | n intervenons<br>v intervenez<br>ils interviennent | j'intervenais | j'intervins | j'interviendrai | j'intervienne<br>il intervienne | n intervenions<br>v interveniez<br>ils interviennent |
| **introduire** = to introduce | introduisant | introduit | j introduis<br>il introduit | n introduisons<br>v introduisez<br>ils introduisent | j introduisais | j'intro-duisis | j'introduirai | j'introduise<br>il introduise | n introduisions<br>v introduisiez<br>ils introduisent |
| **joindre** = to join | joignant | joint | je joins<br>il joint | n joignons<br>v joignez<br>ils joignent | je joignais | je joignis | je joindrai | je joigne<br>il joigne | n joignions<br>v joigniez<br>ils joignent |

## TABLE OF IRREGULAR VERBS—*(Continued)*

| Infinitive | Present Participle | Past Participle | Present | | Imperfect | Preterit | Future | Subjunctive Present | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **lire = to read** | lisant | lu | je lis<br>il lit | n lisons<br>v lisez<br>ils lisent | je lisais | je lus | je lirai | je lise<br>il lise | n lisions<br>v lisiez<br>ils lisent |
| **maintenir = to maintain** | maintenant | maintenu | je maintiens<br>il maintient | n maintenons<br>v maintenez<br>ils maintiennent | je maintenais | je maintins | je maintiendrai | je maintienne<br>il maintienne | n maintenions<br>v mainteniez<br>ils maintiennent |
| **mettre = to put** | mettant | mis | je mets<br>il met | n mettons<br>v mettez<br>ils mettent | je mettais | je mis | je mettrai | je mette<br>il mette | n mettions<br>v mettiez<br>ils mettent |
| **mouvoir = to move** | mouvant | mû | je meus<br>il meut | n mouvons<br>v mouvez<br>ils meuvent | je mouvais | je mus | je mouvrai | je meuve<br>il meuve | n mouvions<br>v mouviez<br>ils meuvent |
| **obtenir = to obtain** | obtenant | obtenu | j obtiens<br>il obtient | n obtenons<br>v obtenez<br>ils obtiennent | j obtenais | j'obtins | j obtiendrai | j'obtienne<br>il obtienne | n obtenions<br>v obteniez<br>ils obtiennent |
| **offrir = to offer** | offrant | offert | j'offre<br>il offre | n offrons<br>v offrez<br>ils offrent | j offrais | j'offris | j'offrirai | j'offre<br>il offre | n offrions<br>v offriez<br>ils offrent |
| **omettre = to omit** | omettant | omis | j'omets<br>il omet | n omettons<br>v omettez<br>ils omettent | j'omettais | j'omis | j'omettrai | j'omette<br>il omette | n omettions<br>v omettiez<br>ils omettent |
| **ouvrir = to open** | ouvrant | ouvert | j'ouvre<br>il ouvre | n ouvrons<br>v ouvrez<br>ils ouvrent | j'ouvrais | j'ouvris | j'ouvrirai | j'ouvre<br>il ouvre | n ouvrions<br>v ouvriez<br>ils ouvrent |
| **paraître = to appear** | paraissant | paru | je parais<br>il paraît | n paraissons<br>v paraissez<br>ils paraissent | je paraissais | je parus | je paraîtrai | je paraisse<br>il paraisse | n paraissions<br>v paraissiez<br>ils paraissent |
| **partir = to set out** | partant | parti | je pars<br>il part | n partons<br>n partons<br>ils partent | je partais | je partis | je partirai | je parte<br>il parte | n partions<br>v partiez<br>ils partent |

## TABLE OF IRREGULAR VERBS—*(Continued)*

| Infinitive | Present Participle | Past Participle | Present | | Imperfect | Preterit | Future | Subjunctive Present | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| parvenir = to succeed<br>to attain | parvenant | parvenu | je parviens<br>il parvient | n parvenons<br>v parvenez<br>ils parviennent | je parvenais | je parvins | je parviendrai | je parvienne<br>il parvienne | n parvenions<br>v parveniez<br>ils parviennent |
| permettre = to permit | permettant | permis | je permets<br>il permet | n permettons<br>v permettez<br>ils permettent | je permettais | je permis | je permettrai | je permette<br>il permette | n permettions<br>v permettiez<br>ils permettent |
| pouvoir = to be able | pouvant | pu | je peux<br>il peut | n pouvons<br>v pouvez<br>ils peuvent | je pouvais | je pus | je pourrai | je puisse<br>il puisse | n puissions<br>v puissiez<br>ils puissent |
| prendre = to take | prenant | pris | je prends<br>il prend | n prenons<br>v prenez<br>ils prennent | je prenais | je pris | je prendrai | je prenne<br>il prenne | n prenions<br>v preniez<br>ils prennent |
| produire = to produce | produisant | produit | je produis<br>il produit | n produisons<br>v produisez<br>ils produisent | je produisais | je pro-<br>duisis | je produirai | je produise<br>il produise | n produisions<br>v produisiez<br>ils produisent |
| provenir =<br>to proceed from | provenant | provenu | je proviens<br>il provient | n provenons<br>v provenez<br>ils proviennent, | je provenais | je provins | je proviendrai | je provienne<br>il provienne | n provenions<br>v proveniez<br>ils proviennent |
| recevoir = to receive | recevant | reçu | je reçois<br>il reçoit | n recevons<br>v recevez<br>ils reçoivent | je recevais | je reçus | je recevrai | je reçoive<br>il reçoive | n recevions<br>v receviez<br>ils reçoivent |
| reconnaître = to recognize | reconnaissant | reconnu | je reconnais<br>il reconnaît | n reconnaissons<br>v reconnaissez<br>ils reconnaissent | je reconnais-<br>sais | je reconnus | je reconnaîtrai | je reconnaisse<br>il reconnaisse | n reconnaissions<br>v.reconnaissiez<br>ils reconnaissent |
| recueillir = to collect | recueillant | recueilli | je recueille<br>il recueille | n recueillons<br>v recueillez<br>ils recueillent | je recueillais | je recueillis | je recueillerai | je recueille<br>il recueille | n recueillions<br>v recueilliez<br>ils recueillent |
| réduire = to reduce | réduisant | réduit | je réduis<br>il réduit | n réduisons<br>v réduisez<br>ils réduisent | je réduisais | je réduisis | je réduirai | je réduise<br>il réduise | n réduisions<br>v réduisiez<br>ill réduisent |

## TABLE OF IRREGULAR VERBS—*(Continued)*

| Infinitive | Present Participle | Past Participle | Present | | Imperfect | Preterit | Future | Subjunctive Present | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **résoudre = to resolve** | résolvant | résolu | je résous<br>il résout | n résolvons<br>v résolvez<br>ils résolvent | je résolvais | je résolus | je résoudrai | je résolve<br>il résolve | n résolvions<br>v résolviez<br>ils résolvent |
| **restreindre = to restrain** | restreignant | restreint | je restreins<br>il restreint | n restreignons<br>v restreignez<br>ils restreignent | je restreignais | je restreignis | je restreindrai | je restreigne<br>il restreigne | n restreignons<br>v restreigniez<br>ils restreignent |
| **retenir = to retain, to remember** | retenant | retenu | je retiens<br>il retient | n retenons<br>v retenez<br>ils retiennent | je retenais | je retins | je retiendrai | je retienne<br>il retienne | n retenions<br>v reteniez<br>ils retiennent |
| **revenir = to come back** | revenant | revenu | je reviens<br>il revient | n revenons<br>v revenez<br>ils reviennent | je revenais | je revins | je reviendrai | je revienne<br>il revienne | n revenions<br>v reveniez<br>ils reviennent |
| **satisfaire = to satisfy** | satisfaisant | satisfait | je satisfais<br>il satisfait | n satisfaisons<br>v satisfaites<br>ils satisfont | je satisfaisais | je satisfis | je satisferai | je satisfasse<br>il satisfasse | n satisfassions<br>v satisfassiez<br>ils satisfassent |
| **savoir = to know** | sachant | su | je sais<br>il sait | n savons<br>v savez<br>ils savent | je savais | je sus | je saurai | je sache<br>il sache | n sachions<br>v sachiez<br>ils sachent |
| **sentir = to smell, to feel** | sentant | senti | je sens<br>il sent | n sentons<br>v sentez<br>ils sentent | je sentais | je sentis | je sentirai | je sente<br>il sente | n sentions<br>v sentiez<br>ils sentent |
| **servir = to serve to be used as** | servant | servi | je sers<br>il sert | n servons<br>v servez<br>ils servent | je servais | je servis | je servirai | je serve<br>il serve | n servions<br>v serviez<br>ils servent |
| **sortir = to go out** | sortant | sorti | je sors<br>il sort | n sortons<br>v sortez<br>ils sortent | je sortais | je sortis | je sortirai | je sorte<br>il sorte | n sortions<br>v sortiez<br>ils sortent |
| **soumettre = to submit** | soumettant | soumis | je soumets<br>il soumet | n soumettons<br>v soumettez<br>ils soumettent | je soumettais | je soumis | je soumettrai | je soumette<br>il soumette | n soumettions<br>v soumettiez<br>ils soumettent |

## TABLE OF IRREGULAR VERBS—(*Continued*)

| Infinitive | Present Participle | Past Participle | Present | | Imperfect | Preterit | Future | Subjunctive Present | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **soustraire** = to subtract | soustrayant | soustrait | je soustrais<br>il soustrait | n soustrayons<br>v soustrayez<br>ils soustraient | je soustrayais | | je soustrairai | je soustraie<br>il soustraie | n soustrayions<br>v soustrayiez<br>ils soustraient |
| **soutenir** = to sustain | soutenant | soutenu | je soutiens<br>il soutient | n soutenons<br>v soutenez<br>ils soutiennent | je soutenais | je soutins | je soutiendrai | je soutienne<br>il soutienne | n soutenions<br>v souteniez<br>ils soutiennent |
| **souvenir** = to remember | souvenant | souvenu | je souviens<br>il souvient | n souvenons<br>v souvenez<br>ils souviennent | je souvenais | je souvins | je souviendrai | je souvienne<br>il souvienne | n souvenions<br>v souveniez<br>ils souviennent |
| **suffire** = to suffice | suffisant | suffi | je suffis<br>il suffit | n suffisons<br>v suffisez<br>ils suffisent | je suffisais | je suffis | je suffirai | je suffise<br>il suffise | n suffisions<br>v suffisiez<br>ils suffisent |
| **suivre** = to follow | suivant | suivi | je suis<br>il suit | n suivons<br>v suivez<br>ils suivent | je suivais | je suivis | je suivrai | je suive<br>il suive | n suivions<br>v suiviez<br>ils suivent |
| **taire** = to keep silent | taisant | tu | je tais<br>il tait | n taisons<br>v taisez<br>ils taisent | je taisais | je tus | je tairai | je taise<br>il taise | n taisions<br>v taisiez<br>ils taisent |
| **teindre** = to dye | teignant | teint | je teins<br>il teint | n teignons<br>v teignez<br>ils teignent | je teignais | je teignis | je teindrai | je teigne<br>il teigne | n teignions<br>v teigniez<br>ils teignent |
| **tenir** = to hold | tenant | tenu | je tiens<br>il tient | n tenons<br>v tenez<br>ils tiennent | je tenais | je tins | je tiendrai | je tienne<br>il tienne | n tenions<br>v teniez<br>ils tiennent |
| **traduire** = to translate | traduisant | traduit | je traduis<br>il traduit | n traduisons<br>v traduisez<br>ils traduisent | je traduisais | je traduisis | je traduirai | je traduise<br>il traduise | n traduisions<br>v traduisiez<br>ils traduisent |
| **transmettre** = to transmit | transmettant | transmis | je transmets<br>il transmet | n transmettons<br>v transmettez<br>ils transmettent | je transmet-tais | je transmis | je transmettrai | je transmette<br>il transmette | n transmettions<br>v transmettiez<br>ils transmettent |

# TABLE OF IRREGULAR VERBS—*(Continued)*

| Infinitive | Present Participle | Past Participle | Present | | Imperfect | Preterit | Future | Subjunctive Present | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **valoir = to be worth** | valant | valu | je vaux<br>il vaut | n. valons<br>v. valez<br>ils valent | je valais | je valus | je vaudrai | je vaille<br>il vaille | n. valions<br>v. valiez<br>ils vaillent |
| **vendre = to sell** | vendant | vendu | je vends<br>il vend | n. vendons<br>v. vendez<br>ils vendent | je vendais | je vendis | je vendrai | je vende<br>il vende | n. vendions<br>v. vendiez<br>ils vendent |
| **venir = to come** | venant | venu | je viens<br>il vient | n. venons<br>v. venez<br>ils viennent | je venais | je vins | je viendrai | je vienne<br>il vienne | n. venions<br>v. veniez<br>ils viennent |
| **vivre = to live** | vivant | vécu | je vis<br>il vit | n. vivons<br>v. vivez<br>ils vivent | je vivais | je vécus | je vivrai | je vive<br>il vive | n. vivions<br>v. viviez<br>ils vivent |
| **voir = to see** | voyant | vu | je vois<br>il voit | n. voyons<br>v. voyez<br>ils voient | je voyais | je vis | je verrai | je voie<br>il voie | n. voyions<br>v. voyiez<br>ils voient |
| **vouloir = to want** | voulant | voulu | je veux<br>il veut | n. voulons<br>v. voulez<br>ils veulent | je voulais | je voulus | je voudrai | je veuille<br>il veuille | n. voulions<br>v. vouliez<br>ils veuillent |

# Vocabulary.

## ABBREVIATIONS USED IN THE VOCABULARY.

| | |
|---|---|
| *a*, active | *pl.*, plural |
| *adj.*, adjective | *poss*, possessive |
| *adv*, adverb | *prep.*, preposition |
| *art*, article | *pron.*, pronoun |
| *conj*, conjunction | *r.*, reflected |
| *f*, feminine | *sing*, singular |
| *imp*, impersonal | *v*, verb |
| *m*, masculine | *v. a.*, verb active or transitive |
| *n*, noun-substantive | *v imp*, verb impersonal |
| *part.*, participle | *v n*, verb neuter or intransitive |
| *pers*, personal | *v r*, verb reflexive |

### A

**à**, *prep.*, to, at
**a**, *v*, has
**abaissement**, *n. m.*, lowering
**abaisser**, *v. a.*, to lower, to reduce
**s'abaisser**, *v r.*, to stoop
**à l'abandon**, *adv.*, at random
**abandonner**, *v a*, to abandon, to give up
**s'abandonner à**, *v r*, to give way to
**abattre**, *v a*, to pull down, to cut down
**abducteur**, *adj.*, abductor (tube abducteur, exit tube)
**abeille**, *n f*, bee
**abîmer**, *v a*, to spoil, to injure
**ablution**, *n. f*, ablution, washing
**abolir**, *v. a*, to abolish, to repeal
**abondance**, *n f*, abundance, plenty
**abondant, -e**, *adj.*, plentiful
**abonné, -e**, *part.*, subscriber
**abonner**, *v. a.*, to subscribe
**s'abonner à**, *v. r*, to subscribe
**abord**, *n m*, landing, access, approach
**d'abord**, *adv*, at first
**aborder**, *v. a.*, to come near, to board
**abouté, -e**, *adj*, placed end to end
**abouter**, *v a*, to join end to end
**aboutir**, *v a*, to join, to end in
**aboutissant, -e**, *adj*, bordering upon
**abrasin**, *n m*, chinese wood
(**huile d'abrasin**, chinese wood oil or tung oil)
**abréger**, *v a*, to abbreviate, to shorten
**abri**, *n. m*, shelter, cover
**abriter**, *v. a.*, to shelter, to shield
**abscisse**, *n. f*, abscissa
**absent, -e**, *adj.*, absent, missing
**absolument**, *adv.*, absolutely
**absorber**, *v. a.*, to absorb, to take up
**s'abstenir**, *v. r.*, to abstain, to refrain
**abstraire**, *v. a*, to abstract, to separate
**abus**, *n m*, abuse, misuse
**abuser**, *v a.*, to abuse, to misuse
**accablant, -e**, *adj*, oppressive, overwhelming
**accabler**, *v. a*, to crush, to overwhelm
**accaparer**, *v. a.*, to monopolize

**accéder,** *v. n.*, to accede, to agree to
**accélérat-eur, -rice,** *adj.*, accelerative
**accélérer,** *v. a.*, to accelerate, to hasten
**accentuer,** *v. a.*, to accentuate
**accepter,** *v. a.*, to accept, to receive
**accès,** *n. m.*, access, admittance, attack
**accessoire,** *adj.*, accessory, additional (produit accessoire, by-product)
**accident,** *n. m.*, accident (par accident, accidentally
**acclamer,** *v. a.*, to acclaim, to applaud
**accolé,** *adj.*, joined together, stuck
**accommoder,** *v. a.*, to adapt, to accommodate, to fit
**s'accommoder,** *v. r.*, to put up with
**accompagner,** *v. a.*, to accompany, to follow
**accompli, -e,** *adj.*, accomplished, complete
**accomplir,** *v. a.*, to accomplish, to effect, to complete
**accord,** *n. m.*, agreement
**accorder,** *v. a.*, to grant, to concede
**s'accorder,** *v. r.*, to agree, to be suited
**accoupler,** *v. a.*, to couple, to pair
**accoutumé, -e,** *adj.*, accustomed, used to
**accoutumer,** *v. a.*, to accustom
**accrocher,** *v. a.*, to hook, to hang up or upon
**acroissement,** *n. m.*, increase
**accroître,** *v. a.*, to increase, to enlarge
**accueil,** *n. m.*, reception, welcome
**accueillir,** *v. a.*, to receive, to welcome
**accumulat, -eur, -rice,** *adj.*, accumulator
**accumuler,** *v. a.*, to accumulate, to store
**accuser,** *v. a.*, to accuse of, to blame
**acéré, -e,** *adj.*, steely, steeled
**acétate,** *n. m.*, acetate
**acétique,** *adj.*, acetic
**acharnement,** *n. m.*, tenacity, stubbornness
**acharner, s'acharner,** *v. r.*, to be set upon, to be bent upon
**acheter,** *v. a.*, to buy
**achever,** *v. a.*, to finish, to conclude
**acide,** *adj.*, acid, sour, tart
**acide acétylacétique,** acetoacetic acid
**acide azoteux,** nitrous acid
**acide bromhydrique,** hydrobromic acid
**acide chlorhydrique,** hydrochloric acid
**acide cyanhydrique,** hydrocyanic acid
**acide iodhydrique,** hydriodic acid
**acidifier,** *v. a.*, to acidify
**acidulé, -e,** *adj.*, acidulated, made acid
**acier,** *n. m.*, steel
**aciération,** *n. f.*, converting of iron into steel
**aciérie,** *n. f.*, steel plant
**aconit,** *n. m.*, aconite
**acquérir,** *v. a.*, to acquire, to obtain
**acquit,** *n. m.*, receipt
**âcre,** *adj.*, sharp, sour, acrimonious
**âcreté,** *n. f.*, sourness, sharpness
**acti, -f, -ve,** *adj.*, active, quick
**actif,** *n. m.*, credit, favor
**action,** *n. f.*, action, act, operation
**activement,** *adv.*, actively, vigorously
**activer,** *v. a.*, to press, to hasten
**activité,** *n. f.*, activity, action
**actuel, -le,** *adj.*, actual, real, present
**actuellement,** *adv.*, now, at the present time
**adapter,** *v. a.*, to adapt, to apply
**s'adapter,** *v. r.*, to adapt, to fit
**additionner,** *v. a.*, to add
**additionner de,** to treat with
**adducteur,** *adj.*, adductor (tube adducteur, side-neck, delivery tube)
**adhérer,** *v. a.*, to adhere, to stick
**adipeu-x, -se,** *adj.*, adipose, fat
**adjoindre,** *v. a.*, to adjoin, to associate
**adjoint, -e,** *adj.*, adjunct, associate

**admettre,** *v a.*, to admit, to receive
**administrer,** *v. a*, to administer, to manage
**admirablement,** *adv*, admirably
**s'adonner à,** *v r.*, to addict one's self to
**adoucir,** *v a.*, to soften, to sweeten, to soothe
**adresse,** *n. f.*, address, speech, skill
**adresser,** *v. a*, to address
**s'addresser à,** to apply to
**adroit, -e,** *adj*, skilful, ingenious
**adroitement,** *adv.*, skilfully, cleverly
**advenir,** *v. n*, to happen, to occur
**aérage,** *n. m*, airing, renewal of air
**aérer,** *v a.*, to air, to give air
**affaiblir,** *v. a*, to weaken, to impair
**affaire,** *n. f.*, thing, matter, business
**affaisser,** *v a*, to cause to sink, to bear down
**affamé, -e,** *adj.*, famished, starving
**affecter,** *v a*, to affect, to destine
**affermir,** *v a*, to strengthen, to harden
**affermissement,** *n m*, strengthening
**affilé, -e,** *adj.*, sharp
**affinage,** *n m*, refining
**affiner,** *v a.*, to refine
**affinité,** *n f*, affinity
**affirmer,** *v a*, to affirm, to assure
**affleurer,** *v a*, to level, to make flush, to crop out
**affligé, -e,** *adj*, afflicted, grieved
**affliger,** *v. a*, to afflict, to grieve
**affluence,** *n f*, abundance, a flowing together
**affluer,** *v. n*, to flow into, to abound
**affranchir,** *v a*, to set free, to prepay
**affreu-x, -se,** *adj*, frightful, horrible
**affronter,** *v a*, to affront, to face
**afin de, afin que,** *conj.*, in order that, so that
**agacer,** *v. a*, to incite, to irritate
**agence,** *n f*, agency
**agent,** *n. m*, agent, transactor
**agglomérer,** *v. a*, to agglomerate
**agglutiner,** *v a.*, to agglutinate
**agir,** *v. n*, to act, to do, to behave
(**il s'agit de,** the question is)
**agitateur,** *n m*, agitator, stirring rod, stirrer
**agitateur à bouton,** stirring rod with flat end
**agiter,** *v. a*, to stir, to shake
**agrafe,** *n f*, hook, clasp
**agrandir,** *v. a.*, to enlarge, to amplify
**agréer,** *v a*, to accept
**agrégation,** *n f*, aggregation, fellowship
**agrégé,** *n m*, fellow in a university
**agricole,** *adj*, agricultural
**agriculteur,** *n m*, farmer, agricultor
**agronome,** *n m*, agriculturist
**aide,** *n. m*, help, support
**aider,** *v a*, to help, to assist
**aigre,** *adj*, sour, acid
**aigre-doux,** *adj*, sourish, bitterish
**aigrelet, -te,** *adj*, sourish
**aigrement,** *adv*, sourly, harshly
**aigreur,** *n. f*, sourness, sharpness
**aigrir,** *v a*, to sour, to turn sour
**aigu, -e,** *adj*, pointed, keen, acute
**aiguille,** *n f.*, needle, hand of a clock
**aiguiser,** *v a*, to whet, to sharpen
**ail,** *n m*, garlic
**aile,** *n f*, wing
**ailleurs,** *adv*, elsewhere
(**d'ailleurs,** besides, moreover)
**aisance,** *n f*, ease, freedom
**aise,** *n f*, ease, comfort, gladness
**aise,** *adj*, glad, well pleased
**aisé, -e,** *adj*, easy, convenient
**aisément,** *adv*, easily, convenient
**ajourner,** *v a*, to adjourn
**ajouter,** *v a*, to add, to join
**ajustement,** *n m*, adjustment, adjusting

**ajuster,** *v. a.*, to adjust, to regulate, to fit, to adapt
**ajutage,** *n. m.*, pipe, joint
**alarmer,** *v. a.*, to alarm
**s'alarmer,** *v. r.*, to be alarmed
**albumine,** *n. f.*, albumin, white of egg
**albumineu-x, -se,** *adj.*, albuminous
**alcali,** *n. m.*, alkali
**alcalin,** *adj.*, alkaline
**alcalino-terreu-x, -se,** *adj.*, alkaline earth
**alcaliser,** *v. a.*, to make alkaline
**alcaloïde,** *n. m.*, alkaloid
**alcool,** *n. m.*, alcohol
**alcool allylique,** allyl alcohol
**alcool amylique,** amyl alcohol
**alcool éthylique,** ethyl alcohol
**alcool méthylique,** methyl alcohol
**alcool propylique,** propyl alcohol
**alcoolique,** *adj.*, alcoholic
**alcoyle,** *n. m.*, alkyl
**alembic,** *n. m.*, still, alembic
**alentour,** *adv.*, about, around, round about
**alerte,** *adj.*, alert, watchful
**aliéner,** *v. a.*, to alienate, to give away, to part with
**aligner,** *v. a.*, to put in a straight line, to lay out
**alimentaire,** *adj.*, alimentary
**alimenter,** *v. a.*, to feed, to maintain
**alimenteu-x, -se,** *adj.*, nutritive
**alléger,** *v. a.*, to ease, to lighten, to unload
**allemand,** *adj.*, German
**aller,** *v. n.*, to go, to be going
*s'en* **aller,** *v. r.*, to go away
**alliage,** *n. m.*, alloy
**allier,** *v. a.*, to mix, to combine, to alloy
**allonge,** *n. f.*, adaptor
**allonger,** *v. a.*, to lengthen, to stretch out
**allumer,** *v. a.*, to light, to kindle
**allumette,** *n. f.*, match
**allure,** *n. f.*, gait, direction
**alors,** *adv.*, then, at that time
**altération,** *n. f.*, deterioration, adulteration, misinterpretation, excessive thirst
**altérer,** *v. a.*, to alter, to cause thirst
**alterner,** *v. a.*, to alternate
**alumine,** *n. f.*, alumina
**alun,** *n. m.*, alum
**amadou,** *n. m.*, german tinder, pyrotechnical sponge
**amas,** *n. m.*, mass, heap, accumulation
**amasser,** *v. a.*, to heap up, to accumulate
**ambiant, -e,** *adj.*, surrounding (**température ambiante,** room temperature)
**ambigu, -e,** *adj.*, ambiguous
**ambitieu-x, -se,** *adj.*, ambitious
**ambitionner,** *v. a.*, to desire earnestly
**âme,** *n. f.*, soul, mind
**améliorer,** *v. a.*, to ameliorate, to improve
**amenée,** *n. f.*, inlet
**amener,** *v. a.*, to bring, to bring in
**am-er, -ère,** *adj.*, bitter, sad, painful
**amèrement,** *adv.*, bitterly
**amertume,** *n. f.*, bitterness
**ameublement,** *n. m.*, furniture
**ami,** *n. m.*, friend
**amiante,** *n. f.*, asbestos
**amiante platinée,** platinized asbestos
**amidon,** *n. m.*, starch
(empoi d'amidon, starch paste)
**amidonner,** *v. a.*, to starch
**amitié,** *n. f.*, friendship
**ammonia-c, -que,** *adj.*, ammoniacal
**ammoniaque,** *n. f.*, ammonia
**amoindrir,** *v. a.*, to lessen, to decrease
**amollir,** *v. a.*, to soften
**amollissement,** *n. m.*, softening
**amonceler,** *v. a.*, to heap up
**amorce,** *n. f.*, bait, priming, tinder

**amorcer,** *v a*, to prime, to bait, to start a reaction
**amorphe,** *adj.*, amorphous
**amortir,** *v. a*, to deaden, to allay, to weaken
**amour,** *n m*, love
**amplement,** *adv.*, amply, fully, largely
**amplifier,** *v a.*, to amplify, to enlarge
**ampoule,** *n f.*, blister, glass bulb
**ampoule à brome,** dropping funnel
**ampoule compte-goutte,** medicine dropper
**ampoule à décantation,** separatory funnel
**ampouler,** *v a*, to blister
**amuser,** *v a.*, to amuse, to entertain
**s'amuser,** *v r*, to enjoy one's self
**amylacé, -e,** *adj*, amylaceous
**an,** *n m*, year
**analyse,** *n f*, analysis, outline
**analyser,** *v a*, to analyze
**analytique,** *adj.*, analytical
**anatomiser,** *v a.*, to anatomize
**ancien, -ne,** *adj*, ancient, old
**ancienneté,** *n f*, old age, seniority, primitiveness
**ancre,** *n f*, anchor
**anéantir,** *v a.*, to annihilate, to destroy
**anglais, -e,** *adj.*, English
**angle,** *n. m*, angle, corner
**angulaire,** *adj*, angular
**anguleu-x, -se,** *adj*, angular
**anhydre,** *adj.*, anhydrous
**anhydre,** *n. m.*, anhydride
**animer,** *v a.*, to animate, to quicken, to give life
**anis,** *n. m.*, anis, anis seed
**anneau,** *n m*, ring, link of a chain
**année,** *n f*, year
**annelé, -e,** *adj*, annulated, having rings
**annonce,** *n f*, announcement, publication
**annoncer,** *v. a.*, to announce, to publish, to declare
**annoter,** *v. a*, to annotate
**annuaire,** *n m.*, annual
**annuel, -le,** *adj*, annual, yearly
**annuler,** *v. a.*, to annul, to make void to cancel
**anodin, -e,** *adj*, anodyne, paregoric
**anormal, -e,** *adj*, abnormal
**antérieur, -e,** *adj.*, anterior, former
**antérieurement,** *adv.*, previously
**anticiper,** *v. a.*, to anticipate, to forestall
**apaiser,** *v. a*, to appease, to soothe
**apanage,** *n m*, appanage, lot, property
**apercevoir,** *v. a.*, to perceive, to notice
**s'apercevoir de,** *v. r.*, to notice, to be aware of
**aperçu,** *n m*, sketch, glance, rough estimate
**à peu près,** *adv*, approximately, about
**aplanir,** *v. a*, to smooth, to level, to remove
**aplatir,** *v a*, to flatten
**apparaître,** *v a*, to appear, to come in sight
**appareil,** *n m*, apparatus
**apparemment,** *adv*, apparently
**apparence,** *n f*, appearance, likelihood
**apparent, -e,** *adj*, apparent, evident
**appartenir à,** *v n.*, to belong to
**appel,** *n m*, appeal, call
**appeler,** *v a*, to call, to name
**s'appeler,** *v r.*, to be called, to call one's self
**appesantir,** *v a*, to weigh down, to make heavy
**appliqué, -e,** *adj*, intent, perseverant
**appliquer,** *v. a.*, to apply, to apply to, to fit
**apporter,** *v. a.*, to bring
**apprécier,** *v. a*, to appreciate, to value, to estimate

**appréhender,** *v. a.*, to apprehend, to fear
**apprendre,** *v. a.*, to learn, to teach, to tell
**apprêt,** *n. m.*, preparation
**apprêter,** *v. a.*, to prepare, to get ready
**s'apprêter à,** *v. r.*, to get one's self ready to
**approché, -e,** *adj.*, approximate
**approcher,** *v. a.*, to bring near, to draw near
**s'approcher de,** *v. r.*, to come near, to draw near
**approfondir,** *v. r.*, to deepen, to examine thoroughly
**approprier,** *v. a.*, to appropriate, to adapt, to fit
**approuver,** *v. a.*, to approve, to approve of, to authorize
**approvisionnement,** *n. m.*, supply
**appui,** *n. m.*, prop, support
**appuyer,** *v. a.*, to support, to prop up, to strengthen
**s'appuyer,** *v. r.*, to lean, to recline upon
**après,** *prep.*, after, next
**apres que,** *conj.*, after, when
**après-demain,** *adv.*, day after to-morrow
**âpreté,** *n. f.*, harshness, tartness
**aptitude,** *n. f.*, aptitude, disposition, inclination
**arachide,** *n. f.*, peanut plant
(**huile d'arachide,** peanut oil)
**aqueu-x, -se,** *adj.*, aqueous
**arable,** *adj.*, tillable
**aptitude,** *n. f.*, aptitude, disposition, inclination
**aratoire,** *adj.*, aratory
(instruments oratoires, farm instruments)
**arbouse,** *n. m.*, arbute
(**huile d'arbouse,** arbute seed oil)
**arbre,** *n. m.*, tree, shaft
**arbrisseau,** *n. m.*, young tree, shrub
**arc-bouter,** *v. a.*, to support, to prop
**arc-en-ciel,** *n. m.*, rainbow
**ardent, -e,** *adj.*, hot, burning, glowing
**ardeur,** *n. f.*, ardour, heat, intensity
**ardoise,** *n. f.*, slate
**aréole,** *n. f.*, incrustations in the form of a ring or halo
**argent,** *n. m.*, silver, money
**argenté,** *adj.*, silver plated
**argile,** *n. f.*, clay
**argileu-x, -se,** *adj.*, clayey, clayish
**aride,** *adj.*, sterile, barren
**armé, -e,** *adj.*, armed, equipped
**aromatique,** *adj.*, aromatic, fragrant
**arque, -e,** arched
**arracher,** *v. a.*, to extract, to force out of
**arrangement,** *n. m.*, arrangement, order, method, terms
**arranger,** *v. a.*, to arrange, to set in order
**arrêter,** *v. a.*, to stop, to delay
**s'arrêter,** *v. r.*, to stop
**arrière,** *adv.*, behind, aft
**arriérer,** *v. a.*, to defer, to put off
**arrivée,** *n. f.*, arrival, inlet
(tube d'arrivée, inlet tube)
**arriver,** *v. n.*, to arrive, to be coming, to occur
**arrondi, -e,** *adj.*, rounded
**arrondir,** *v. a.*, to round off, to make round
**arroser,** *v. a.*, to water, to wet
**arsénieux,** *adj.*, arsenious
**arséniure d'hydrogène,** arseniureted hydrogen
**artifice,** *n. m.*, art, contrivance
**ascendant, -e,** ascending
**aspect,** *n. m.*, aspect, look, point of view
**aspirateur,** *n. m.*, exhauster
**aspirer,** *v. a.*, to suck in, to aspire, to exhaust
**assaillir,** *v. a.*, to assail, to attack

**assainir,** *v a.*, to make wholesome, to render healthful
**assembler,** *v a*, to assemble, to gather, to put together
**asseoir,** *v. a*, to seat, to set
*s'***asseoir,** *v r*, to sit down, to be seated
**assez,** *adv.*, enough, rather
**assidument,** *adv*, assiduously, constantly
**assiette,** *n f*, plate
**assigner,** *v a*, to assign, to appoint
**assister,** *v a.*, to assist, to help
**assister à,** *v. n*, to be present at
**associer,** *v a.*, to associate
*s'***associer,** *v r.*, to enter into partnership with someone, to be connected with
**assorti,** -e, stocked, furnished, matched
**assortir,** *v a*, to sort, to match
**assouplir,** *v. a*, to make supple, flexible
**assurer,** *v a*, to assure, to assert
*s'***assurer de,** *v r*, to secure, to make sure of
**atelier,** *n. m*, workshop
**atome,** *n m*, atom
**attache,** *n f*, string, fastening
**attacher,** *v a.*, to tie, to attach
*s'***attacher à,** *v r*, to become attached to
**attaquable,** *adj*, assailable
**attaquer,** *v a.*, to attack, to assail
**atteindre,** *v a.*, to reach, to attain, to strike
**attenant,** -e, *adj*, next, adjoining
**attendre,** *v a*, to wait for, to expect
*s'***attendre à,** *v. r*, to expect
**attendrir,** *v. a*, to soften, to move
**attendu,** -e, *part*, expected
**attendu,** *prep*, considering, on account of
**attendu que,** seeing that, inasmuch as
**attente,** *n. f*, expectation, hope
**attenti-f, -ve,** *adj*, attentive, careful
**atténuer,** *v a*, to attenuate, to weaken
**attiédir,** *v a*, to cool, to make lukewarm
**attirer,** *v a.*, to attract, to draw
*s'***attirer,** *v r*, to incur, to draw upon one's self, to attract each other
**attraire,** *v a*, to allure, to entice
**attrait,** *n. m*, attractive, charm
**attraper,** *v. a.*, to catch, to take in
**attrayant,** -e, *adj*, attractive, inviting
**attribuer,** *v a*, to attribute, to ascribe, to assign
**aucun,** -e, *adj*, any
(ne aucun, none, not any)
**aucunement,** *adv*, in no wise, not at all, not in the least
**au-delà,** *prep*, beyond, on the other side
**augmenter,** *v a*, to increase, to raise, *v. n*, to grow, to multiply
**aujourd'hui,** *adv*, to-day, now
**auparavant,** *adv*, before, heretofore
**auprès,** *prep*, near, close to, in comparison with
**aussi,** *adv*, too, also, likewise, besides, accordingly
**aussi,** *conj*, therefore
**aussitôt,** *adv*, immediately, directly
**autant,** *adv*, as much, as many, so much, so many
*d'***autant plus que,** the more so, so much the more
*d'***autant moins,** the less, so much the less
*d'***autant que,** *conj*, seeing, more especially as
**auteur,** *n m*, author
**autoriser,** *v. a*, to authorize, to empower
**autour,** *prep*, around, about

**autre,** *adj.*, other, different, another, else
**autrefois,** *adv.*, formerly
**autrement,** *adv.*, otherwise, else
**avaler,** *v. a.*, to swallow
**avance,** *n. f.*, advance, start
**avancé, -e,** *part.*, advanced, forward
**avancer,** *v. a.*, to advance, to put forward, to bring nearer
**avant,** *prep.*, before
**avant que,** *conj.*, before
**avantage,** *n. m.*, advantage
**avantageusement,** *adv.*, advantageously
**avantageu-x, -se,** *adj.*, advantageous, profitable
**avarie,** *n. f.*, damage
**avec,** *prep.*, with, together, among
**avenir,** *n. m.*, the future
**aventurer,** *v. a.*, to venture
*s'***aventurer,** *v. r.*, to venture
**avertir,** *v. a.*, to warn, to give notice of
**aveu,** *n. m.*, confession, avowal
**aveugle,** *adj.*, blind
**aveugler,** *v. a.*, to blind, to dazzle
**avide,** *adj.*, greedy, eager, desirous
**avidité,** *n. f.*, avidity, eagerness
**avis,** *n. m.*, advice, sentiment, opinion
**aviser,** *v. a.*, to consider, to think upon
*s'***aviser de,** *v. r.*, to take it into one's head
**avoine,** *n. f.*, oats
**avoir,** *v. a.*, to have, to get, to be the matter with
**avouer,** *v. a.*, to confess, to acknowledge
**axe,** *n. m.*, axis, axle
**azoique,** *adj.*, azo
**azotate,** *n. m.*, nitrate
**azotate d'argent,** silver nitrate
**azote,** *n. m.*, nitrogen
**azoté,** *adj.*, nitrogeneous
**azotique,** *adj.*, nitric

**B**

**badigeonner,** *v. a.*, to whitewash
**badiner,** *v. a.*, to trifle
**bagage,** *n. m.*, luggage, baggage
**bague,** *n. f.*, ring
**baguette,** *n. f.*, rod, small stick (baguette en verre, glass rod)
**baigner,** *v. a.*, to bathe, to dip
*se* **baigner,** *v. r.*, to bathe
**bain,** *n. m.*, bath, bathing place
**bain d'huile,** oil bath
**bain-marie,** *n. m.*, water-bath
**baisse,** *n. f.*, fall, fall in value
**baisser,** *v. a.*, to let down, to lower, to droop
**baisser,** *v. n.*, to lower, to go down, to fall
*se* **baisser,** *v. r.*, to stoop
**balai,** *n. m.*, broom, brush
**balance,** *n. f.*, balance, scales
**balancer,** *v. a.*, to balance, to swing, to counterbalance
*se* **balancer,** *v. r.*, to swing, to rock
**balancier,** *n. m.*, pendulum
**balayage,** *n. m.*, sweeping
**balayer,** *v. a.*, to sweep
**balayures,** *n. f.*, sweepings
**baleine,** *n. f.*, whale
**balle,** *n. f.*, ball, bullet, shot, bale
**ballon,** *n. m.*, balloon, round flask
**ballon à distiller,** distilling flask
**balloter,** *v. a.*, to toss, to toss about
**banane,** *n. f.*, banana
**banc,** *n. m.*, bench, seat
**bancoulier,** *n. m.*, candle nut tree (**huile de bancoulier,** candle nut oil)
**bandage,** *n. m.*, bandage, belt
**bande,** *n. f.*, band, belt, strip, gang
**bander,** *v. a.*, to bind up, to tighten
**bannir,** *v. a.*, to banish, to expel
**banque,** *n. f.*, bank
**baratter,** *v. a.*, to churn

**barbare,** *adj*, savage, barbarous
**barbe,** *n f.*, beard, whiskers
**barbelé, -e,** bearded, barbed
**barboter,** *v. n*, to bubble (of a gas)
**barboteur,** *n m.*, bubbler, washer, gas washer
**barbouiller,** *v. a*, to daub, to soil, to blot
**bardane,** *n m*, burdock
(**huile de bardane,** burdock oil)
**baril,** *n. m*, barrel, flask
**barillet,** *n. m*, hydraulic main of gas works
**barre,** *n f*, bar, railing, bolt, dash, stripe
**barreau,** *n m*, bar
**barrer,** *v a.*, to bar, to fence up, to stop up
**baryte,** *n f*, baryta
**bas, -se,** *adj.*, low, shallow, mean, inferior
**bas,** *n. m*, lower part, bottom, foot, stocking
**bascule,** *n f*, weighing scales, lever, rocker
**base,** *n f*, base, basis, foundation
**baser,** *v a*, to base, to fix, to found
*se* **baser,** *v r*, to be fixed, to be founded
**bassin,** *n m*, basin, pond
**bataille,** *n f*, battle, fight
**bateau,** *n m.*, boat, barge
**bâtiment,** *n m*, building, vessel
**bâtir,** *v a*, to build, to raise
**bâton,** *n m*, stick, cane
**battage,** *n. m*, threshing
**batterie,** *n f*, battery
**batterie électrique,** electric battery
**battre,** *v a*, to beat, to strike, to thrash grain
*se* **battre,** *v. r.*, to fight
**baume,** *n m*, balm, balsam
**beau, bel, belle,** *adj.*, beautiful, fine, lofty, noble
**beaucoup,** *adv*, many, much, a great deal, far
**bec,** *n m*, beak, bill, burner
**belladonne,** *n f*, belladonna, deadly night-shade
**bénéfice,** *n m*, benefit, advantage
**bénéficier,** *v n*, to gain, to profit by
**benzine,** *n f*, benzene or benzol
**benzoique,** *adj*, benzoic
**besogne,** *n f.*, work, labour
**besoin,** *n. m*, need, want, distress
(avoir besoin de, to need)
**bétail,** *n m*, sing, **bestiaux,** plur, cattle
**betterave,** *n f*, beet, beet-root
(sucre de betterave, beet sugar)
**beurre,** *n m*, butter
**biaiser,** *v a*, to slope, to slant, to lean
**bibromé,** *adj*, dibrom
**bien,** *n m*, good, welfare, property
**bien,** *adv*, well, right, proper, indeed quite
**bien que,** *conj*, though, although
**bientôt,** *adv*, soon, shortly
**bière,** *n f*, beer
**bijou,** *n. m*, jewel
**bile,** *n f*, bile, gall
**bille,** *n f*, ball, glass ball
**binaire,** *adj*, binary
**binitré,** *adj*, dinitro
**bitume,** *n m*, bitumen
**bitumineu-x, -se,** *adj*, bituminous
**bizarre,** *adj*, odd, queer, strange
**blafard, -e,** *adj*, dull
**blâme,** *n m*, blame, reproach
**blâmer,** *v a*, to blame, to find fault with
**blanc, -he,** *adj*, white, clean
**blanc,** *n m*, white
**blanc de baleine,** spermaceti
**blanc d'Espagne,** chalk
**blanchâtre,** *adj*, whitish
**blanchiment,** *n m.*, bleaching
**blanchir,** *v a.*, to whiten, to bleach

**blé,** *n m*, wheat
**blesser,** *v a*, to wound, to hurt, to offend
**blessure,** *n. f.*, wound, hurt
**bleu de Prusse,** *n. m*, Prussian blue
**bleu, -e,** *adj*, blue
**blond, -e,** *adj*, blond, flaxen, light
**bloquer,** *v. a*, to blockade, to fill up (of cavities)
**bobine,** *n f*, spool, coil
**bobine de Rumkorff,** Rumkorff coil
**bocal,** *n m*, large phial, short-necked bottle
**bœuf,** *n m.*, ox, beef
**boire,** *v a*, to drink
**bois,** *n m*, wood, forest
**boisson,** *n f*, beverage, drink
**boîte,** *n f*, box, case
**bombarder,** *v. a*, to bombard
**bomber,** *v a*, to swell out, to cause anything to bulge
**bon, -ne,** *adj*, good, kind, fine, proper, convenient
**bond,** *n m*, bound
**bonde,** *n f*, bung, bung-hole, sluice
**bondir,** *v n*, to bounce, to rebound
**bondon,** *n m*, bung, bung-hole
**bonheur,** *n m*, happiness, good fortune
**bonjour,** *n m*, good morning, good day
**bonsoir,** *n m*, good evening
**bonté,** *n f*, goodness, kindness
**bord,** *n m*, shore, bank, side, margin
**border,** *v a*, to edge, to hem, to border
**bordure,** *n f.*, border, frame, edge
**borne,** *n. f.*, landmark, boundary, limit
**borner,** *v. a.*, to bound, to limit, to restrict
*se* **borner à,** *v r.*, to keep within bounds
**bosse,** *n f.*, protuberance, lump

**bouche,** *n. f*, mouth, lips, muzzle
**bouchée,** *n f.*, mouthful
**boucher,** *v a.*, to stop, to stopper, to obstruct
**bouchon,** *n m*, cork, stopper
**boucle,** *n. f.*, buckle, ring, curl, lock
**boue,** *n f*, mud, sediment
**bouger,** *v. n*, to stir, to budge
**bougie,** *n f*, wax-candle
**bouillant -e,** *adj*, boiling, hot
**bouillie,** *n. f.*, paste, pulp
**bouillir,** *v n*, to boil, to simmer
**bouillon,** *n m*, broth, bubbling
**bouillonnement,** *n m.*, bubbling up, ebullition
**bouillonner,** *v. n*, to boil, to bubble
**boulanger,** *n m*, baker
**boule,** *n. f*, ball
**boulet,** *n m*, bullet, ball
**boulette,** *n f*, small ball
**bouleverser,** *v a*, to overthrow, to upset
**boulon,** *n m*, bolt
**bouquet,** *n m*, bunch, cluster, tuft, aroma of wine
**bourdonnement,** *n m*, buzzing, humming
**bourdonner,** *v n*, to hum, to buzz
**bourgeon,** *n m*, bud, shoot
**bourgeonner,** *v n*, to bud
**bourrelet,** *n m*, pad
**bourrelet soufflé,** *n m*, enlargement
**bourrer,** *v a*, to stuff, to ram
**bourse,** *n f*, purse, scholarship
**boursoufflé, -e,** *adj.*, bloated, inflated
**bout,** *n m.*, end, tip, nipple
**bouteille,** *n. f.*, bottle
**bouton,** *n. m.*, button, stud, knob
**boutonner,** *v a.*, to button
**boyau,** *n. m.*, bowel, gut
**braise,** *n. f.*, live coal, embers
**branche,** *n. f.*, branch, arm, part, division
**brandir,** *n. a.*, to brandish, to swing

**braquer,** *v a*, to set, to point, to level
**bras,** *n. m.*, arm
**brave,** *adj*, brave, gallant
**braver,** *v. a*, to defy, to dare, to face
**brèche,** *n. f.*, breach, flaw, gap
**br-ef, ève,** *adj*, brief, short, compact
**brevet,** *n. m*, warrant, patent, license
**brêveté, -e,** *adj*, patented
**brièvement,** *adj*, briefly, in short
**brièveté,** *n f*, brevity, shortness, conciseness
**brillant, -e,** *adj*, brilliant, shining, sparkling
**briller,** *v n.*, to shine, to sparkle, to glitter
**brin,** *n m*, blade, sprig
**briser,** *v a.*, to break to pieces, to crack, to shatter
**bromure,** *n m*, bromide
**bromure d'éthyle,** ethyl bromide
**bromure de méthyle,** methyl bromide
**bromure de potassium,** potassium bromide
**brosser,** *v a.*, to brush
**brouillard,** *n m*, fog, mist, haze
**brouiller,** *v. a*, to throw into confusion, to embroil, to confuse
**broyer,** *v a.*, to crush, to grind
**bruit,** *n m.*, noise
**brûler,** *v a*, to burn, to cauterize, to scorch
*se* **brûler,** *v. r.*, to burn one's self, to be burned
**brûleur,** *n m*, burner
**brun, -e,** *adj*, brown, dark
**brunâtre,** *adj*, brownish
**brunir,** *v a*, to brown, to darken, *v n*, to turn brown
**brusque,** *adj*, abrupt, blunt, rough
**brusquement,** *adv*, bruskly, abruptly
**brut, -e,** *adj*, rough, raw
**bruyamment,** *adv*, noisily
**bruyant, -e,** *adj*, noisy, loud
**bulle,** *n f*, gas bubble
**bureau,** *n. m*, office, desk, committee
**burette à robinet,** *n. f.*, burette with glass stopcock
**but,** *n m.*, mark, object, aim, purpose
**buvard,** *adj.*, absorbent
**buvard,** *n m*, blotting paper

C

**cabinet,** *n m*, closet, study
**cachalot,** *n. m*, spermaceti whale (**huile de cachalot,** sperm oil)
**cacher,** *v a*, to hide, to conceal
**cacheter,** *v. a*, to seal
**cadran,** *n m*, dial
**cadre,** *n m*, frame
**cadrer,** *v a*, to fit in
**café,** *n m*, coffee, coffee-berry
**cage,** *n f*, cage, coop, casing
**cahier,** *n m*, copy-book
**cailler,** *v a*, *v n*, to curdle, to clot
*se* **cailler,** *v r*, to coagulate
**caillot,** *n. m*, clot
**caillou,** *n m*, pebble, flint-stone
**caisse,** *n f*, case, box, coffer, cylinder
**calcaire,** *n m*, limestone, carbonate
**calciner,** *v a*, to calcine
**calculable,** *adj*, that may be calculated
**calculer,** *v a*, to calculate, to compute, to estimate
**caler,** *v a*, to block, to level
**calibre,** *n m*, caliber, bore of a gun
**calme,** *adj*, calm, still, quiet
**calme,** *n m*, calm, stillness, quiet
**calmer,** *v a.*, to still, to appease, to pacify
*se* **calmer,** *v. r*, to become calm
**calorifique,** *adj*, calorific
**calquer,** *v n*, to copy, to imitate
**camphre,** *n. m.*, camphor
**camphré, -e,** *adj.*, camphorated
**canal,** *n. m.*, canal, pipe, tube, flue
**candidement,** *adv.*, openly, frankly
**canne à sucre,** *n. f.*, sugar cane

**cannelure,** *n f.,* fluting
**canon,** *n. m.,* cannon, roll
(soufre en canons, roll sulphur)
**caoutchouc,** *n. m.,* rubber
(tube de caoutchouc, rubber tubing)
**capable,** *adj,* able, fit, capable
**capablement,** *adv,* skilfully
**capacité,** *n f.,* extent, capacity
**capillaire,** *adj.,* capillary
**caprice,** *n m,* whim, humor, fit, caprice
**capsule,** *n f.,* pod, round dish
**capsule d'évaporation,** porcelain evaporating dish
**capsule en porcelaine,** porcelain dish
**captiver,** *v a,* to captivate, to enslave
**capuchonné, -e,** hooded
**caractère,** *n m,* character, letter, type, print, stamp, mark
**caractériser,** *v a,* to characterize
**carbone,** *n m,* carbon
**carboné, -e,** *adj,* carbonated
**carbonique,** *adj,* carbonic
**carbonisation,** *n m,* carbonization
**carboniser,** *v a,* to carbonize
**carbure d'hydrogène,** *n m,* hydrocarbon
**carbure acétylénique,** acetylene hydrocarbon
**carbure aromatique,** aromatic hydrocarbon
**carbure éthylénique,** ethylene hydrocarbon
**carbure saturé,** saturated hydrocarbon
**carnet,** *n m,* note-book, memorandum
**carré, -e,** *adj,* square
**carrément,** *adv,* squarely
**carrer,** *v. a.,* to square
**carrière,** *n. f.,* career, quarry
**carte,** *n f,* card, map
**carthame,** *n m,* saffron
(**huile de carthane,** saffron or safflower oil)
**carton,** *n. m,* pasteboard
**cartonné, -e,** *adj,* bound in cardboard
**cas,** *n m,* case, event
**case,** *n. f,* division, pigeon-hole
**caséeux,** *adj.,* caseinlike, cheesy
**caser,** *v a.,* to place, to find a place
**cassant, -e,** *adj,* brittle
**casse,** *n f.,* breakage, break
**casser,** *v a,* to break, to crack
*se* **casser,** *v. r,* to break, to break down, to snap
**casserole,** *n f,* casserole, sauce-pan
**cassure,** *n f,* break, breaking
**casuellement,** *adv,* casually, by chance
**cause,** *n f,* cause, grounds, motive, subject
**causer,** *v a,* to cause, to occasion, to be the cause of
**causer,** *v n,* to talk
**causticité,** *n f,* causticity
**caustique,** *adj,* caustic, biting
**cavalier,** *n m,* rider (of a balance)
**cave,** *n f,* cave, cellar
**ce, cet,** *m,* **cette,** *f,* **ces,** *plur, dem adj,* this, that, these, those
**ce,** *dem pron,* he, she, it, they
**ce qui, ce que, ce dont,** that which, that of what
**ceci,** *dem pron,* this
**céder,** *v a,* to give up, to yield
**céder,** *v n,* to give way, to give in, to submit
**ceindre,** *v a,* to enclose, to surround, to bind, to encircle
**ceinture,** *n f,* belt, girdle, enclosure, circle
**cela,** *dem pron,* that
**célèbre,** *adj.,* famous, celebrated
**célèbrer,** *v a.,* to celebrate, to solemnize
**celle,** *dem. pron.,* that, she

**cellule,** *n f*, cell
**celui,** *m*, **celle,** *f*, **ceux, celles,** *plur., dem pron*, he, she, him, her, they, them, that, those
**celui-ci, celle-ci, ceux-ci, celles-ci,** *dem. pron*, this, these
**celui-là, celle-là, ceux-là, celles-là,** *dem pron.*, that, those
**cendre,** *n f*, ashes, cinder, dust
**cendre d'os,** bone-ash
**cendreu-x,** *adj*, ashy, covered with ashes
**cent,** *adj*, hundred
**centaine,** *n f*, hundred
**centième,** *adj*, hundredth
**centraliser,** *v a*, to centralize
**centre,** *n m*, centre, middle
**centuple,** *adj*, a hundred fold
**centupler,** *v. a*, to augment a hundred fold
**cependant,** *adv*, in the mean time, however, nevertheless, yet
**cercle,** *n m.*, circle, sphere
**céréales,** *n f pl*, corn grain, corn crops
**cerise,** *n f*, cherry
**cerner,** *v a*, to surround, to encompass
**certain, -e,** *adj*, certain, sure, positive
**certainement,** *adv*, certainly, surely, indeed
**certes,** *adv*, indeed, certainly
**certifier,** *v a*, to certify, to testify
**céruse,** *n f*, basic lead carbonate
**cerveau,** *n m*, brain, mind
**cesser,** *v n*, to cease, to discontinue, to end
**cesser,** *v a*, to cease, to leave off
**cétone,** *n m*, ketone
**chacun, -e,** *adj.*, each, everyone
**chagrin,** *n m*, sorrow, grief, trouble
**chaîne,** *n f*, chain, bonds
**chaîne latérale,** side chain
**chair,** *n f.*, flesh, meat
**chaise,** *n f*, chair, seat
**chaleur,** *n. f*, heat, warmth
**chalumeau,** *n m*, blow-pipe
**chalumeau à bouche,** mouth blow-pipe
**chalumeau articulé,** blast lamp
**change,** *n m*, exchange
**changeant, -e,** *adj*, changeable, fickle, variable
**changement,** *n m*, change, variation
**changer,** *v a*, to change, to exchange, to convert, to transform
*se* **changer,** *v r*, to be changed, to be converted
**chanvre,** *n m*, hemp
**chapitre,** *n m*, chapter, subject
**chaque,** *adj.*, each, every
**charbon,** *n m*, coal, charcoal
**charbonner,** *v a., v n*, to carbonize
**charge,** *n f*, load, pack, tax, burden, accusation
**chargé, -e,** *adj*, loaded, burdened, trusted with
**charger,** *v a.*, to load, to burden, to charge with
*se* **charger de,** *v r*, to take charge
**charmer,** *v a*, to charm, to please
**chasser,** *v, a*, to chase, to expel, to drive
**châtain, -e,** *adj*, chestnut, auburn
**chaud, -e,** *adj*, hot, warm
**chaud,** *n m.*, heat, warmth
**chaudière,** *n f*, kettle, boiler
**chaudière d'évaporation,** evaporating kettle
**chauffage,** *n m.*, firing, heating
**chauffant, -e,** *adj.*, heating (plaque chauffante, hot plate)
**chauffe,** *n f*, heating
**chauffer,** *v a*, to heat, to warm
**chaux,** *n. f.*, lime, limestone
**chef,** *n. m.*, chief, head
**chef de file,** first member
**chemin,** *n. m.*, way, road, path

**cheminée,** *n f.*, chimney, fire-place
**chènevis,** *n m.*, hemp
(**huile de chènevis,** hemp seed oil)
**cher, chère,** *adj*, dear, costly
**chercher,** *v. a*, to seek, to look for, to search, to endeavor, to attempt
**chercheur,** *n. m*, research man
**chèrement,** *adv*, dearly
**cheval,** *n m.*, horse
(à cheval, astride)
**cheveu,** *n m*, hair
**cheville,** *n. f*, peg, pin, plug
**chiffre,** *n m.*, figure, number
**chimie,** *n f*, chemistry
**chimique,** *adj*, chemical
**chimiste,** *n m*, chemist
**chirurgie,** *n f.*, surgery
**chirurgien,** *n m*, surgeon
**chirurgique,** *adj*, surgical
**chlore,** *n m*, chlorine
**chlorhydrate,** *n m*, hydrochlorate
**chlorhydrique,** *adj*, hydrochloric
**chlorique,** *adj*, chloric
**chlorure,** *n m*, chloride
**choc,** *n m*, shock, encounter, collision, blow
**choisir,** *v a*, to choose, to select
**choix,** *n m*, choice, option, selection
**choquer,** *v a*, to shock, to strike, to dash against
*se* **choquer,** *v r.*, to come into collision with
**chose,** *n f*, thing, matter, affair
**chute,** *n. f*, fall, falling, decline
**ci,** *adv*, here
**cidre,** *n m*, cider
**ciel,** *n. m sing*, **cieux,** *plur.*, sky, heavens
**ciment,** *n m*, cement, concrete
**ciment armé,** reenforced concrete
**cimenter,** *v a*, to cement, to strengthen
**cinabre,** *n. m*, cinnabar
**cinq,** *adj.*, five
**cinquantaine,** *n f.*, about fifty
**cinquante,** *adj*, fifty
**cinquantième,** *n. m., adj.*, fiftieth, the fiftieth part
**cinquième,** *adj., n. m.*, fifth, the fifth part
**cintrer,** *v. a*, to arch, to curve
**circonstance,** *n f*, circumstance
**circuler,** *v a*, to circulate, to pass from hand to hand
**cire,** *n f*, wax, bees' wax
**cire à cacheter,** *n f*, sealing wax
**cire d'abeilles,** beeswax
**cire de suint,** wool grease or wax
**ciseaux,** *n m plur*, scissors
**citer,** *v. a*, to cite, to quote, to name
**citrique,** *adj*, citric
**claie,** *n f*, perforated wooden tray
**clair, -e,** *adj*, clear, bright, shining, transparent
**claircer,** *v a*, to decolorize
**clairement,** *adv*, clearly, plainly, distinctly
**clarifier,** *v a*, to clarify, to purify
**clarté,** *n f*, light, clearness, transparency
**classe,** *n f*, class, order, rank
**clef,** *n f*, key, plug
**cloche,** *n f*, bell, dish-cover, bell-jar
**cloche à douille,** bell-jar with open top
**cloche graduée,** graduated gas burette
**cloison,** *n f*, partition
**clos, -e,** *adj*, closed, tight, shut
**clou,** *n m*, nail
**clouer,** *v a*, to nail
**coaguler,** *v. a*, to coagulate, to congeal
**coco,** *n m*, cocoanut
(**beurre de coco,** cocanut oil)
**cœur,** *n. m.*, heart, soul, courage
**coiffer,** *v. a.*, to cap, to cover
**coin,** *n. m*, corner, angle
**col,** *n m.*, neck, collar

**colère,** *n. f*, passion, anger, wrath, rage
**collaborat-eur, -trice,** *adj*, fellow laborer, contributor
**collaboration,** *n f*, assistance, contribution
**colle,** *n f*, paste, glue
**colle de poisson,** fish glue
**coller,** *v a.*, to paste, to glue
**colorant, -e,** *adj.*, colouring
**coloré, -e,** *adj*, coloured
**colorer,** *v a.*, to color, to dye
**colza,** *n m*, rape, colza
(**huile de colza,** rape oil)
**combat,** *n m.*, fight, battle, contest
**combattre,** *v. a*, to fight, to battle with
**combien,** *adv*, how much, how many, how, how long
**combiner,** *v. a*, to combine, to contrive
**combler,** *v a.*, to heap up, to make up, to fill up
**comestible,** *n m*, eatable, provisions
**commande,** *n f*, order
**commander,** *v. a*, to command, to order
**comme,** *adv*, like, so, almost, nearly, as if, how
**commencement,** *n. m*, beginning
**commencer,** *v a*, to begin
**comment,** *adv*, how, in what manner, why, wherefore
**commenter,** *v a*, to comment, to criticize
**commettre,** *v a*, to commit, to perpetrate, to appoint
**commode,** *adj*, convenient, comfortable
**commodité,** *n f*, convenience, accommodation, conveyance
**commun, -e,** *adj.*, common, usual, ordinary
**communiquer,** *v. a*, to impart, to communicate
**campagnie,** *n. f*, company, society
**comparaître,** *v. n*, to appear
**compenser,** *v a*, to compensate, to counterbalance
**complaisance,** *n f*, kindness
**complet,** *m.*, **complète,** *f. adj.*, complete, full, total
**compliquer,** *v a*, to complicate, to render intricate
*se* **comporter,** *v. r*, to behave, to go on
**composant,** *n m*, component
**composé, -e,** *adj*, composed, complicate
**composé,** *n m*, compound
**composé d'addition,** addition product
**composé de substitution,** substitution product
**composé saturé,** saturated compound
**composé non saturé,** unsaturated compound
**composé nitré,** nitro compound
**composé sulfoné,** sulphonated compound
**composer,** *v a*, to compose, to form, to compound
**se composer de,** *v r*, to be composed of
**comprendre,** *v a*, to understand, to comprehend, to include
**comprimable,** *adj.*, compressible
**comprimer,** *v a*, to compress, to condense
**compris,-e,** *adj*, comprised, enclosed
**compromettre,** *v a.*, to compromise, to implicate
**compromis,** *n m*, mutual agreement, compromise
**compte,** *n m*, account, reckoning, calculation
**compter,** *v a*, to count, to reckon, to number

**compte rendu,** *n m.*, report, statement, proceedings
**concasser,** *v a*, to pound, to bruise, to crush
**concéder,** *v. a*, to grant, to yield
**concentrer,** *v a*, to concentrate
**concernant,** *prep*, concerning, relating to
**concevoir,** *v a*, to conceive, to imagine, to express
**concilier,** *v a*, to conciliate, to reconcile
**conclure,** *v a.*, to conclude, to infer
**concourir,** *v. a*, to concur, to compete, to contribute
**concours,** *n m*, concurrence, co-operation, competition
**concr-et, ète,** *adj*, concrete
**concurrence,** *n f*, competition, opposition
**concurrent,** *n m*, competitor
**condamner,** *v a*, to condemn, to blame, to censure
**condenser,** *v a*, to condense
**condition,** *n f*, condition, circumstances, nature, quality
**conditionner,** *v a*, to put into good condition
**conduct-eur, -rice,** *adj*, conductor
**conduire,** *v a*, to conduct, to convey, to carry, to go along with
*se* **conduire,** *v r*, to behave one's self
**conduit,** *n m*, pipe, passage, duct
**conduite,** *n. f*, conduct, management, behavior
**conférence,** *n f*, lecture
**(maître de conférence,** lecturer)
**confiance,** *n f*, confidence, reliance, trust
**confier,** *v a*, to confide, to intrust
*se* **confier à,** *v. r*, to trust in, to place confidence in
**confirmer,** *v. a.*, to confirm, to ratify
**confisquer,** *v a*, to confiscate, to forfeit
**conflit,** *n. m.*, contention, strife, conflict
**confondre,** *v a*, to confuse, to mix
**conformer,** *v a*, to conform
*se* **conformer à,** *v. r*, to conform one's self, to comply with
**confronter,** *v a*, to confront, to stand face to face
**confus, -e,** *adj*, confused, mixed
**congeler,** *v. a*, to congeal, to coagulate
*se* **congeler,** *v r*, to congeal, to coagulate
**connaissance,** *n f*, knowledge, acquaintance, learning
**connaître,** *v a*, to know, to be aware of, to be acquainted with
*se* **connaître,** *v r*, to know each other
*se* **connaître en,** to be an expert in
**connu, -e,** *part*, known, understood
**conquérir,** *v a*, to conquer, to subdue
**consacrer,** *v a*, to consecrate, to devote
**conscient, -e,** *adj*, conscious
**conséculi-f, -ve,** *adj*, consecutive
**conseil,** *n m*, counsel, advice, board
**conseiller,** *v a*, to advise, to counsel
**consentir,** *v n*, to consent, to agree to
**conséquence,** *n f*, consequence, sequel
**conserve,** *n f*, glass jar
**conserver,** *v a*, to preserve, to keep, to maintain
*se* **conserver,** *v r*, to be preserved, to keep
**considérer,** *v. a*, to consider, to take into consideration, to look at
**consommer,** *v a.*, to consume, to complete, to finish
**constance,** *n f*, constancy, persistence
**constante,** *n. f*, constant quantity
**constater,** *v. a.*, to ascertain, to verify

**construction,** *n.f.,* construction, building, structure
**construire,** *v a.,* to construct, to build, to erect
**consulter,** *v .a,* to consult, to advise with, to confer
**contempler,** *v. a ,* to contemplate, to behold
**contenir,** *v a.,* to contain, to comprise, to keep in, to hold in check
**content, -e,** *adj ,* contented, satisfied, pleased
**contenter,** *v a ,* to give satisfaction, to satisfy
*se* **contenter,** *v r.,* to be satisfied with
**conter,** *v a ,* to tell, to relate
**contester,** *v a ,* to contest, to dispute, to deny
**contigu, -e·** *adj ,* contiguous, adjoining
**continu, -e,** *adj ,* continuous, uninterrupted, incessant
**continuel, -le,** *adj ,* continual
**continuellement,** *adj.,* continually
**continuer,** *v a.,* to continue, to proceed with
**contour,** *n m ,* circuit, outline
**contracter,** *v a ,* to contract, to make a mutual agreement
**contracter,** *v n ,* to shrink
*se* **contracter,** *v. r ,* to shrink
**contenu,** *n m ,* contents
**contradictoire,** *adj ,* contradictory, inconsistent
**contraignant, -e,** *adj ,* compelling
**contraindre,** *v a ,* to compel, to force, to pinch
*se* **contraindre,** *v r ,* to refrain
**contraint, -e,** *adj ,* forced, cramped
**contraire,** *adj ,* contrary, opposite
**contraire,** *n. m ,* opposite
**contrairement,** *adv.,* contrarily
**contrarier,** *v. a.,* to oppose
**contrastant,** *adj.,* contrasting
**contraster,** *v. a ,* to contrast
**contrat,** *n m.,* contract, deed
**contre,** *prep.,* against, contrary to near, close
**contre-balancer,** *v. a.,* to counterbalance
**contre-coup,** *n. m ,* counter stroke, result
**contredire,** *v a.,* to contradict
**contrefaçon,** *n f ,* counterfeit, forger
**contrefaire,** *v. a.,* to counterfeit, t imitate
**contresens,** *n m ,* contrary sens wrong meaning, opposite
**contribuer,** *v a ,* to contribute, t conduce
**contrôler,** *v a.,* to control, to check
**contrôleur,** *n m ,* superintendent, censurer
**convaincre,** *v a ,* to convince, to persuade
*se* **convaincre,** *v. r ,* to be convinced
**convaincu, -e,** *adj ,* convinced
**convenable,** *adj.,* suitable, fit, prope convenient
**convenablement,** *adv.,* suitably, fitly
**convenir,** *v. n.,* to argue, to admit, acknowledge
**converger,** *v a ,* to converge
**convertir,** *v. a ,* to convert, to chang to turn
**convertissable,** *adj ,* convertible
**convertisseur,** *n m ,* converter
**copeau,** *n m.,* chip, shavings ( wood or metal)
**copie,** *n f ,* copy, imitation
**copier,** *v a ,* to copy
**copieusement,** *adv ,* copiously, abundantly
**coprah,** *n m ,* copra
(**huile de coprah,** cocoanut oil)
**copulation,** *n. f ,* coupling
**corde,** *n f ,* rope, string
**corne,** *n f ,* horn
**cornue,** *n f ,* retort

**corps,** *n. m.*, body, substance
**corps composé,** compound
**corps gras,** fat
**corps simple,** element
**correct, -e,** *adj.*, accurate
**correctement,** *adv.*, correctly, accurately
**correspondant,-e,** *adj.*, correspondent corresponding
**correspondre,** *v. a.*, to correspond, to agree
**corriger,** *v. a.*, to correct, to rectify
**corrompre,** *v. a.*, to corrupt, to adulterate
**côté,** *n. m.*, side
**coton,** *n. m.*, cotton
(**huile de coton,** cotton seed oil)
**coton poudre,** *n. m.*, gun-cotton
**cou,** *n. m.*, neck
**couche,** *n. f.*, layer, stratum, bed
**coucher,** *v. a.*, to put to bed, to lay down
*se* **coucher,** *v. r.*, to go to bed, to lie down
**coude,** *n. m.*, elbow, bend, angle
**coudé, -e,** bent, having an elbow
**couder,** *v. a.*, to bend
**coulant, -e,** *adj.*, flowing
**coulée,** *n. f.*, discharge
**couleur,** *n. f.*, color, coloring, paint
**coup,** *n. m.*, blow, stroke, hit
**coupe,** *n. f.*, cutting
**couper,** *v. a.*, to cut, to cut off
**courant,-e,** *adj.*, current, running, present
**courant,** *n. m.*, stream, course
**courbe,** *n. f.*, curve
**courber,** *v. a.*, to curve, to bend
**courbure,** *n. f.*, curve, curvature
**coureur,** *n. m.*, runner, racer
**courir,** *v. n.*, to run, to run after
**courge,** *n. f.*, pumpkin
**(huile de courge, pumpkin seed oil)**

**couronnement en éventail,** *n. m.*, wing-top or flat burner
**courroie,** *n. f.*, strap, belt
**cours,** *n. m.*, course, stream, current
**course,** *n. f.*, race, running
**court, -e,** *adj.*, short, brief
**coussin,** *n. m.*, cushion, pad
**couteau,** *n. m.*, knife
**coûter,** *v. a.*, to cost; *v. n.*, to be expensive
**coûteu-x, -se,** *adj.*, costly
**coutume,** *n. f.*, custom, habit
**couvercle,** *n. m.*, cover, lid
**couvert, -e,** *part.*, covered, hid
**couvrir,** *v. a.*, to cover, to wrap up, to defray expenses
**craie,** *n. f.*, chalk
**craindre,** *v. f.*, to fear, to be afraid of
**crainte,** *n. f.*, fear, apprehension
**crasse,** *n. f.*, dirt, scum of metals
**crayon,** *n. m.*, pencil
**créditer,** *v. a.*, to credit, to trust
**créer,** *v. a.*, to create, to invent, to establish
**crème,** *n. f.*, cream
**crème de tartre,** cream of tartar
**crête,** *n. f.*, crest, tuft
**creuser,** *v. a.*, to dig, to excavate
**creuset,** *n. m.*, crucible, melting pot, hearth
**creu-x, se,** *adj.*, hollow
**creux,** *n. m.*, hollow, cavity, pit
**crever,** *v. a.*, to burst, to perish
**cri,** *n. m.*, cry, scream, squeak
**cribler,** *v. a.*, to sift
**crier,** *v. n.*, to cry, to shout
**crin,** *n. m.*, hair (of mane and tail of horse)
**cristal,** *n. m.*, crystal
**cristallin, -e,** *adj.*, crystalline
**cristallisable,** *adj.*, crystallizable
(**acide acétique cristallisable,** glacial acetic acid)

**cristalliser,** *v. a, v n.,* to crystallize
**cristallisoir,** *n m,* crystallizing dish
**critique,** *n. f,* criticism, censure, critique
**critique,** *adj,* critical
**critiquer,** *v. a,* to criticize, to censure
**crochet,** *n m.,* hook
**croire,** *v a,* to believe, to think
**croiser,** *v a,* to cross, to lay across
*se* **croiser,** *v. r,* to intersect each other
**croître,** *v a,* to grow, to increase
**croix,** *n. f,* cross
**croûte,** *n. f.,* crust
**croyable,** *adj,* credible, believable, likely
**cru, -e,** *adj,* raw, crude
**cuber,** *v a,* to cube
**cubilot,** *n m,* converter
**cueillir,** *v a,* to pick, to gather
**cuillère,** *n f,* spoon
**cuir,** *n m,* leather
**cuire,** *v a,* to cook
**cuivre,** *n m,* copper
**cuivreux,** *adj,* cuprous
**cuivrique,** *adj,* cupric
**cultiver,** *v. a,* to cultivate, to till
**curseur,** *n m,* runner (of Wheatstone bridge)
**cuve,** *n f,* tub, vat
**cuvette,** *n f.,* basin, cistern

## D

**dalle,** *n f,* glass plate
**dalle rodée,** ground glass plate
**dans,** *prep,* in, within, into
**dard,** *n. m,* tip of flame or blowpipe
**davantage,** *adv.,* more, longer
**de,** *prep,* of, from, by, with, in, upon, out, of, any, for, at, to
**débarrasser,** *v a.,* to clear, to clear away, to rid
*se* **débarrasser de,** *v. r,* to rid one's self of, to extricate one's self from
**débit,** *n m.,* delivery
**débit d'eau,** flow of water
**déborder,** *v n,* to overflow, to run over
**débouché,** *n m,* opening, outlet, issue
**déboucher,** *v a,* to open, to uncork
**debout,** *adv,* upright, on one end, standing
**début,** *n. m,* beginning, first appearance, outset
**deçà,** *adv,* on this side, here
**décanter,** *v. a,* to decant
**décaper,** *v a,* to scour, to cleanse surface of metal before soldering
**déchiqueté,-e,** *adj,* shredded, torn to pieces
**déchiqueter,** *v a,* to cut or tear to pieces
**décharge,** *n f,* discharge, release, unloading
**décharger,** *v a,* to discharge, to unload, to release
**déchet,** *n m,* waste, loss
**déceler,** *v a,* to detect
**déchirer,** *v. a,* to tear
**décidé, -e,** *adj,* decided, determined
**décidément,** *adv,* decidedly, positively
**décider,** *v a,* to decide, to determine, to settle
*se* **décider à,** *v r,* to make up one's mind
**décisi-f, -ve,** *adj,* decisive, conclusive
**déclancher,** *v a.,* to release a spring to unlatch
**déclarer,** *v a,* to declare, to make known
**déclin,** *n m,* decline, close
**décliner,** *v a.,* to decline, to fall off
**décolorer,** *v a.,* to discolor, to take away the color

**décomposer,** *v. a*, to decompose
*se* **décomposer,** *v. r.*, to decompose, to become decomposed
**décortiquer,** *v a.*, to decorticate, to strip off the bark
**découper,** *v. a.*, to cut into pieces, to cut out, to carve
**décourager,** *v. a*, to discourage
*se* **décourager,** *v. a*, to be discouraged
**découvert, -e,** *adj*, uncovered, discovered
**découverte,** *n f.*, discovery
**découvrir,** *v. a*, to discover, to uncover
**décuple,** *adj*, tenfold
**dédaigner,** *v a*, to disdain, to scorn
**dédaigneusement,** *adv.*, disdainfully, scornfully
**dédaigneu-x, -se,** *adj*, disdainful, scornful
**dédain,** *n m*, disdain, scorn
**dédale,** *n m*, labyrinth, maze
**dedans,** *adv*, within, in, inside
**dédier,** *v a*, to dedicate
*se* **dédire,** *v r*, to retract
**dédommager,** *v a*, to idemnify, to compensate
**dédoublement,** *n m*, breaking into two, hydrolysis
**dédoubler,** *v a*, to break into two, to hydrolyze
*se* **dédoubler,** *v r*, to break into parts
**déduire,** *v a*, to deduce, to deduct
**défaire,** *v a*, to undo
*se* **défaire de,** *v r*, to get rid of, to do away with
**défaite,** *n f.*, defeat, overthrow
**défaut,** *n. m.*, defect, fault, flaw, want (au défaut de, à défaut de, for want of)
**défavorable,** *adj.*, unfavorable
**défavorablement,** *adv.*, unfavorably
**défecti-f, -ve,** *adj*, defective
**défendre,** *v. a*, to defend, to shelter, to support
*se* **défendre,** *v. r.*, to defend one's self
**défense,** *n. f*, defence, protection
**défenseur,** *n m*, defender, supporter
**défiance,** *n f.*, distrust, mistrust
**défier,** *v a*, to defy, to challenge, to dare
*se* **défier de,** *v r.*, to distrust, to mistrust
**défigurer,** *v a*, to disfigure, to distort, to mar
**défini,** *part*, definite, defined
**définir,** *v a*, to define, to decide
**définissable,** *adj*, definable
**définiti-f, -ve,** *adj.*, definitive, positive
**défléchir,** *v a*, to turn aside
**déformer,** *v a*, to put out of form, to put out of shape
**dégagement,** *n m*, formation, evolution (tube à dégagement, exit tube)
**dégager,** *v a*, to evolve, to generate, to disengage
**dégât,** *n m*, havoc, damage
**dégel,** *n m*, thaw
**dégeler,** *v a*, *v n*, to thaw
**dégénérer,** *v n*, to degenerate, to decline
**dégraisser,** *v a*, to scour, to remove greasy stains
**degré,** *n m*, degree, stage, point, extent
**déguiser,** *v a*, to disguise, to hide
**dehors,** *adv*, out, without, out of doors, externally
**déjà,** *adv.*, already, yet
**delà, au delà de, en delà de,** *prep.*, further on
**délai,** *n. m.*, delay
**délaisser,** *v. a.*, to forsake, to abandon
**délayant,** *n m*, diluent
**délayer,** *v. a*, to dilute

**déléguer,** *v a*, to delegate
**délibérément,** *adv*, deliberately, boldly
**délibérer,** *v a*, to deliberate
**délicat, -e,** *adj*, delicate, dainty, nice
**délicatement,** *adv*, delicately, daintily
**délicatesse,** *n f*, delicacy, daintiness
**délier,** *v. a.*, to untie, to liberate
**délimiter,** *v. a*, to settle the limits
**délivrer,** *v a*, to deliver, to set free
**déloger,** *v a*, to dislodge, to remove
**demain,** *adv*, to-morrow
**demande,** *n f*, demand, question, request
**demander,** *v a*, to ask, to beg, to request
**démasquer,** *v a*, to unmask, to show up
**démêler,** *v a*, to disentangle, to separate, to unravel
**démembrement,** *n. m*, dismemberment
**démembrer,** *v a*, to dismember, to disjoint
**démentir,** *v a*, to deny, to contradict
**démesuré, -e,** *adj*, huge, excessive
**démesurément,** *adv.*, immoderately, excessively
**demeure,** *n f*, abode, home
**demeurer,** *v. n*, to live, to reside, to remain
**demi, -e,** *adj*, half
**démolir,** *v a*, to demolish, to pull down
**démonter,** *v a.*, to dismount, to disconnect
**démontrer,** *v a*, to demonstrate, to prove
**dénaturer,** *v. a.*, to denature, to change
**dénier,** *v. a.*, to deny, to refuse
**dénoncer,** *v. a.*, to denounce
**dénoter,** *v. a*, to describe, to denote
**dent,** *n. f*, tooth, cog
**denté, -e,** *adj.*, with teeth or cogs (roue dentée, cog wheel)
**dénué, -e,** *adj.*, destitute, void
**départ,** *n m*, departure
**dépasser,** *v. a*, to go beyond, to exceed, to surpass
**dépêcher,** *v a.*, to hasten
*se* **dépêcher,** *v r*, to hasten
**dépens,** *n m plur*, expense, cost
**dépense,** *n f*, expense, expenditure
**dépilage,** *n m*, taking off the fleece
**dépilatoire,** *adj*, depilatory
**déplier,** *v a*, to unfold
**déployer,** *v a*, to unfold, to unroll
**dépolarisant,** *n. m*, depolarizer
**déposer,** *v a.*, to lay down, to deposit
**dépôt,** *n m*, deposit, sediment
**dépouiller,** *v a*, to unclothe, to lay bare, to deprive
**dépourvu, -e,** *adj*, destitute, unprovided
**déprécier,** *v a*, to depreciate, to undervalue
**depuis,** *adv.*, *prep*, since, from, after
**depuis que,** *conj*, since
**dérangé, -é,** *adj*, out of order, deranged
**déranger,** *v a*, to put out of order, to displace, to incommode
**dérégler,** *v a*, to put out of order
**dérisoire,** *adj.*, derisive, ridiculous
**dérivé,** *n m*, derivative
**dériver,** *v. n.*, to be derived, to proceed from
**derni-er, -ère,** *adj.*, last
**dernièrement,** *adv*, lately
**dérober,** *v. a.*, to rob, to hide, to screen
*se* **dérober,** *v r*, to steal away, to escape, to avoid
**dérouler,** *v. a.*, to unroll, to spread out, to display

**dernière,** *prep.*, behind
**des,** *art plur.*, of the, from the, some
**dès,** *prep*, from, since
**dès que,** *conj*, when, as soon as, since
**désagréable,** *adj.*, disagreeable, unpleasant
**désagréablement,** *adv*, disagreeably, unpleasantly
**désagrément,** *n. m*, disagreeableness, unpleasantness
**désaimanter,** *v. a.*, to demagnetize
**désappointer,** *v. a*, to disappoint
**désarroi,** *n. m*, disorder, disarray
**désavantage,** *n. m*, disadvantage
**désavantageu-x, -se,** *adj.*, disadvantageous
**désavouer,** *v a*, to disown, to disclaim, to deny
**descendre,** *v a*, *v n*, to go down, to step down, to take down
**descente,** *n f*, descent, declivity, taking down
**déserter,** *v a.*, to desert, to abandon
**désespéré, -e,** *part*, desperate, hopeless
**désespérément,** *adv*, desperately
**désespérer,** *v. n*, to despair, to give up all hope
**désespoir,** *n m*, despair, hopelessness
**déshydrater,** *v. a*, to dehydrate
**déshydratant,** *n m.*, dehydrating agent
**désigner,** *v a*, to designate, to denote
**désinfection,** *n f*, disinfection, fumigation
**désintéressé, -e,** *adj.*, disinterested, unbiased
**désir,** *n m.*, desire, wish
**désirer,** *v. a*, to desire, to wish for
**désordonné, -e,** *adj.*, disorderly, unruly
**désordre,** *n m.*, disorder, confusion
**désormais,** *adv*, henceforth, hereafter
**désoxyder,** *v a.*, to deoxydize
**desséché, -e,** part., dried up, desiccated
**dessécher,** *v. a.*, to dry, to dry up, to drain
**dessein,** *n m*, design, intention, intent
**desserrer,** *v a.*, to loosen, to slacken
**dessiccateur,** *n. m*, desiccator
(dessiccateur à vide, vacuum desiccator)
**dessiccati-f, -ve,** *adj.*, desiccative
**dessiner,** *v a*, to draw, to sketch
**dessous,** *adv*, under, underneath
**dessous,** *n m.*, the lower part, the under side
**dessus,** *adv*, on, upon, over, uppermost
**dessus,** *n m*, top, upper part, upper hand
**destiné, -e,** *part*, destined, born
**destinée,** *n f*, destiny, fate
**destiner,** *v a.*, to intend, to destine
**destitué, -e,** *adj*, destitute, devoid
**destruct-eur, -rice,** *adj*, destructive, deadly
**détacher,** *v a*, to detach, to untie, to take out stains
**détail,** *n m*, detail, retail, particular
**détendre,** *v a*, to slacken, to unbend, to relax
**détenu, -e,** *part*, detained, withheld
**détériorer,** *v a*, to deteriorate, to impair
**déterminer,** *v a.*, to determine, to divert
**détresse,** *n f*, distress, sorrow
**détriment,** *n m*, injury, prejudice, detriment
**détruire,** *v. a.*, to destroy, to ruin
**dette,** *n f*, debt, obligation
**deux,** *adj.*, two, second
**deuxième,** *adj.*, second
**deuxièmement,** *adj.*, secondly

**devancer,** *v a,* to precede, to go before, to anticipate
**devant,** *prep, adv.,* before, in front of
**devant,** *n m,* front, front part
**développement,** *n m,* development, unfolding
**développer,** *v. a,* to develop, to open, to unwrap
**devenir,** *v n,* to become, to come to
**dévier,** *v n,* to deviate, to swerve
**deviner,** *v a,* to guess, to predict
**devoir,** *n m,* duty, task
**devoir,** *v a,* to owe, to be bound to, to be compelled, must
**dévorer,** *v a,* to devour, to eat up
**dévouer,** *v a,* to devote, to dedicate
**dextrogyre,** *adj,* dextrorotatory
**diamant,** *n m,* diamond
**diazoique,** *adj,* diazo
**différencier,** *v a,* to differentiate, to distinguish
**difficile,** *adj,* difficult, hard
**difficilement,** *adv,* with difficulty, not easily
**difforme,** *adj,* misshapen, deformed
**diffus, -e,** *adj,* diffuse
**digérer,** *v a,* to digest
**digne,** *adj,* worthy, deserving
**dignement,** *adv,* worthily, deservedly
**dilater,** *v a,* to dilate, to distend
**diluer,** *v a,* to dilute
**diminuer,** *v a,* to diminish, to lessen
**dire,** *v a.,* to tell, to say
**directement,** *adv,* directly
**direct-eur, -rice,** *adj, n,* director, manager
**diriger,** *v a,* to direct, to conduct, to manage
**discerner,** *v a,* to discern, to distinguish
**discontinu, -e,** *adj,* discontinuous
**discontinuer,** *v a,* to discontinue
**discutable,** *adj,* debatable, disputable
**discuter,** *v a,* to discuss, to debate
**dispenser,** *v a,* to dispense
*se* **dispenser de,** *v r.,* to dispense with
**dispos,** *adj,* active, nimble
**disposer,** *v a,* to dispose, to lay out
*se* **disposer à,** *v. r,* to get ready, to prepare
**dissimuler,** *v a,* to conceal, to hide
**dissiper,** *v a,* to dissipate, to scatter
**dissolvant,** *n m,* solvent, dissolvent
**dissoudre,** *v a,* to dissolve
*se* **dissoudre,** *v r,* to be dissolved, to go in solution
**dissou-s, -te,** *adj,* dissolved
**distendre,** *v a,* to distend, to stretch
**distiller,** *v a,* to distil
**distinguer,** *v a,* to discern, to distinguish
*se* **distinguer,** *v r,* to distinguish one's self, to be distinguished
**distribuer,** *v a,* to distribute, to lay out
**diviser,** *v. a,* to divide, to portion out
**dix,** *adj,* ten
**dix-huit,** *adj,* eighteen
**dix-huitième,** *adj,* eighteenth
**dixième,** *adj,* tenth
**dix-neuf,** *adj,* nineteen
**dix-neuvième,** *adj,* nineteenth
**dix-sept,** *adj,* seventeen
**dix-septième,** *adj,* seventeenth
**dizaine,** *n. f,* about ten
**doctorat,** *n m,* doctor's degree
**doight,** *n m.,* finger
**domaine,** *n. m,* domain, province
**dominer,** *v a., v. n.,* to dominate,, to rule, to predominate
**dommage,** *n m,* damage, injury (c'est dommage, it is a pity)
**don,** *n. m,* gift, endowment
**donc,** *conj.,* therefore, accordingly, then
**donnée,** *n. f.,* data, notion, idea

**donner,** *v a., v n*, to give, to yield (donner prise à, to give a footing, to give reason for)
**dont,** *pron*, whose, of which, of whom, for whom
**dormir,** *v n.*, to sleep, to be dormant
**dos,** *n m*, back
**dosage,** *n m.*, determination
**dose,** *n. f*, quantity, portion
**doser,** *v a*, to determine
**doter,** *v. a*, to endow
**doubler,** *v a*, to double, to line
**doublure,** *n f*, lining
**douceâtre,** *adj*, sweetish
**doucement,** *adv*, softly, gently
**douceur,** *n f*, sweetness, mildness
**douleur,** *n f*, pain, soreness, sorrow
**doute,** *n m*, doubt, distrust
**douter,** *v a*, to doubt, to suspect
**douteu-x, -se,** *adj*, doubtful, questionable
**dou-x, -ce,** *adj*, sweet, mild, fresh
**douzaine,** *n f*, dozen
**douze,** *adj*, twelve
**douzième,** *adj*, twelfth
**doyen,** *n m*, dean, oldest member
**draîner,** *v a*, to drain
**dresser,** *v a*, to erect, to set up
**droit, -e,** *adj*, straight, right, direct
**droit,** *n m*, right, custom, duty
**droite,** *n f*, right hand, right
**du,** *art* (condensation of **de le**), of the, from the, by the, some, any
**dû,** *m.*, **due,** *f*, *part*, due, owed
**dur, -e,** *adj.*, hard, tough
**durcir,** *v a*, to harden
**durcissement,** *n m*, hardening
**durée,** *n f.*, duration, continuance
**durer,** *v a*, to last, to continue
**dureté,** *n. f.*, hardness, toughness

## E

**eau,** *n f*, water
**eau-mère,** *n. f.*, mother liquor
**eau oxygénée,** *n. f.*, hydrogen peroxyde
**éblouir,** *v. a*, to dazzle, to fascinate
**éblouissant, -e,** *adj*, dazzling
**écart,** *n. m*, error, digression
**écarter,** *v a*, to set aside, to remove
**échanger,** *v a*, to exchange, to interchange
**échantillon,** *n. m*, sample, specimen
**échantillonner,** *v a*, to sample
**échapper,** *v a.*, to escape, to avoid
**s'échapper,** *v. r*, to get away, to escape
**échauffement,** *n m*, heating
**échauffer,** *v a*, to warm, to overheat
**échelle,** *n f*, scale, ladder
**écheveau,** *n m*, skein, hank
**éclaircir,** *v a*, to clarify, to clear, to elucidate
**éclaircissement,** *n m*, clearing up, explanation
**éclairer,** *v a*, to light, to enlighten, to throw light on
**éclat,** *n m*, splinter, luster, brightness
**éclatant, -e,** *adj*, bright, sparkling, dazzling
**éclater,** *v a*, to split, to burst
**école,** *n f*, school
**économiser,** *v a*, to economize, to save
**écorce,** *n f*, bark, rind
**écoulement,** *n m*, flowing, discharge (jaugeage par écoulement, graduation for delivery)
**s'écouler,** *v. r*, to flow away, to pass away
**écouter,** *v. a*, to listen, to pay attention to
**écran,** *n. m*, screen
**écraser,** *v a*, to crush, to bruise, to overwhelm
**écrêmer,** *v a.*, to take off the cream, to skim

**écrire,** *v. a*, to write, to spell
**écriture,** *n f.*, writing
**écrou,** *n. m*, nut of a screw
**écroulement,** *n m.*, falling in, falling down
**écru, -e,** *adj*, unbleached
**écume,** *n. f*, foam, froth, scum, dross
**écumer,** *v. a.*, to skim, to froth, to foam
**effacer,** *v. a.*, to efface, to blot out, to obliterate
**effectivement,** *adv.*, in effect, really
**effectuer,** *v. a.*, to accomplish, to work out
***s'*effectuer,** *v. r.*, to be accomplished
**effet,** *n. m.*, effect, purpose
**efficace,** *adj.*, efficacious
**effilé, -e,** *adj*, slender, drawn out
(**tube effilé, drawn out tube**)
**effleurir,** *v. n*, to effloresce
***s'*efforcer,** *v r*, to strive, to endeavor
**effort,** *n m*, effort, endeavor
**effrayant, -e,** *adj.*, frightful, dreadful
**égal, -e,** *adj*, equal
**également,** *adv*, equally
**égaler,** *v. a.*, to equal, to make even
**égaliser,** *v a*, to equalize, to make level
**égard,** *n. m.*, regard, consideration, respect
(à l'égard de, with respect to)
**égarer,** *v a.*, to mislead, to mislay
***s'*égarer,** *v r*, to lose one's way, to go astray
**égout,** *n m.*, sewer, drain
**égratigner,** *v. a*, to scratch
**élan,** *n m*, start, burst
***s'*élancer,** *v. r.*, to bound, to rush
**élargir,** *v a*, to widen, to stretch
**élargissement,** *n. m.*, widening
**élastique,** *adj.*, elastic
**électrique,** *adj*, electric
**électro-aimant,** *n. m.*, electro-magnet
**élémentaire,** *adj*, elementary
**élévation,** *n f.*, elevation, raising
**élève,** *n. m*, pupil, student
**élever,** *v a.*, to raise, to lift, to increase
***s'*élever,** *v r*, to arise, to run up, to amount
**éliminer,** *v a.*, to eliminate, to expel
**elle, elles,** *pron. f.*, she, they
**éloigné, -e,** *adj.*, distant, remote
**éloigner,** *v. a*, to remove, to dismiss
***s'*éloigner,** *v r.*, to go away, to withdraw
**élucider,** *v a*, to elucidate
**émail,** *n m.*, enamel
**embarras,** *n. m.*, hinderance, impediment
**embarrasser,** *v a.*, to embarrass, to obstruct, to puzzle
**emboîter,** *v. a*, to joint, to fit in
**embranchement,** *n. m*, branching off
**embrasser,** *v. a.*, to embrace, to comprise, to include
**embrouiller,** *v a.*, to confuse, to obscure
**émerger,** *v a.*, to emerge
**émeri,** *n m*, emery
**émettre,** *v. a*, to emit, to give out, to put in circulation
**emmener,** *v a.*, to take away, to carry away
**empaqueter,** *v. a*, to pack up
***s'*emparer,** *v. a*, to take possession of, to seize
**empâter,** *v a*, to turn thick, to become pasty
**empêchement,** *n. m.*, obstacle, obstruction
**empêcher,** *v. a*, to oppose, to prevent
***s'*empêcher,** *v r*, to oppose, to prevent
**emplir,** *v. a.*, to fill
**emplissage,** *n m*, filling
(jaugeage par emplissage, graduation for contents)
**emploi,** *n. m.*, employment, place, use

**employer,** *v. a.*, to use
**empois,** *n. m.*, paste
(empois d'amidon, starch paste)
**empoisonner,** *v. a.*, to poison
**emporter,** *v. a.*, to carry away, to remove
**empreinte,** *n. f.*, print, mark, stamp
**empressement,** *n. m.*, eagerness
**s'empresser,** *v. r.*, to be eager, to hasten
**emprunt,** *n. m.*, loan
**emprunter,** *v. a.*, to borrow
**en,** *prep.*, in, into, within, out of, by, in the form of
**en,** *pron.*, of him, of her, of it, of them, from him, from her, from it, from them, by, about him, her, it or them
**encastrer,** *v. a.*, to fit in
**enceinte,** *n. f.*, circuit, enclosure, space
**enchaînement,** *n. m.*, linking
**enchaîner,** *v. a.*, to chain up, to link
**s'enchevêtrer,** *v. r.*, to get tangled
**encollage,** *n. m.*, sizing (of paper)
**encore,** *adv.*, yet, still, again, once more, further, besides, moreover, however
**encore,** *conj.*, even, yet
**encourager,** *v. a.*, to encourage, to stimulate
**encourir,** *v. a.*, to incur
**encre,** *n. f.*, ink
**endormi, -e,** *adj.*, asleep, sleeping, sluggish
**endroit,** *n. m.*, place, point
**enduire,** *v. a.*, to coat
**enduit,** *n. m.*, coating
**endurci, -e,** *adj.*, hardened
**endurcir,** *v. a.*, to harden
**endurcissement,** *n. m.*, hardening, hardness
**endurer,** *v. a.*, to endure, to bear
**énergie,** *n. f.*, energy, force
**énergique,** *adj.*, energetic
**énergiquement,** *adv.*, energetically
**enfance,** *n. f.*, infancy
**enfant,** *n. m.*, child
**enfermer,** *v. a.*, to shut in, to enclose
**enfin,** *adv.*, at last, after all, finally
**enfler,** *v. a.*, to swell out
**enfoncer,** *v. a.*, to sink, to drive in
**engager,** *v. a.*, to engage, to induce, to compel
**engendrer,** *v. a.*, to generate, to breed, to give rise to
**engrais,** *n. m.*, manure, fertilizer
**engraissement,** *n. m.*, fattening
**engraisser,** *v. a.*, to fatten, to manure
**engrenage,** *n. m.*, gear
**enlèvement,** *n. m.*, carrying off, removal
**enlever,** *v. a.*, to lift, to carry off, to remove
**ennemi,** *n. m.*, enemy, foe
**ennuyant, -e,** *adj.*, annoying, irksome
**ennuyer,** *v. a.*, to annoy, to bother
**ennuyeu-x, -se,** *adj.*, tiresome, annoying
**énoncé,** *n. m.*, statement
**énoncer,** *v. a.*, to state
**énorme,** *adj.*, enormous
**énormément,** *adv.*, enormously
**s'enquérir,** *v. r.*, to enquire
**enregistrer,** *v. a.*, to register, to enroll
**enrichir,** *v. a.*, to enrich
**enseignement,** *n. m.*, teaching
**enseigner,** *v. a.*, to teach
**ensemble,** *adv.*, together, at the same time
**ensemble,** *n. m.*, whole
**ensemencement,** *n. m.*, sowing, seeding
**ensemencer,** *v. a.*, to sow, to seed
**ensuite,** *adv.*, after, afterwards, then
**s'ensuivre,** *v. r.*, to follow
**entacher d'erreurs,** to vitiate

**entasser,** *v a*, to heap up, to accumulate, to huddle
**entendre,** *v a*, to hear, to understand, to mean
**entendre dire,** *v. a*, to hear say
**s'entendre à,** *v. r.*, to be skilful in, to be a judge of
**enterrer,** *v a*, to bury
**entier, entière,** *adj*, entire, whole
**entonnoir,** *n m*, funnel
**entonnoir à filtration chaude,** hot water funnel
**entonnoir en porcelaine,** porcelain funnel
**entonnoir à robinet,** dropping funnel
**entourer,** *v a*, to surround, to enclose
**entrain,** *n m*, spirit, animation
**entrain de,** in the act of
**entraînement,** *n m*, impulse, enthusiasm
**entraînement à la vapeur,** steam distillation
**entraîner,** *v a*, to carry away, to involve, to train
**entrave,** *n f*, obstacle, impediment
**entraver,** *v a*, to hinder, to impede
**entre,** *prep*, between, among, in
**entrée,** *n f*, entry, mouth, coming in, entrance
**entremise,** *n f*, intervention, medium
**entreprendre,** *v a.*, to undertake, to attempt
**entreprise,** *n. f*, enterprise, undertaking, concern
**entrer,** *v a*, *v n*, to enter, to come in, to get in
**entretenir,** *v. a.*, to entertain, to keep up
**entretien,** *n. m*, maintenance, talk
**entrevoir,** *v. a.*, to foresee, to have a glimpse of
**énumérer,** *v a*, to enumerate
**envahir,** *v. a.*, to invade
**enveloppe,** *n. f.*, cover, coat, envelope
**envelopper,** *v a.*, to wrap up, to surround
**envers,** *prep*, towards, to
**envers,** *n m*, wrong side
**envie,** *n f*, envy, wish, longing (avoir envie de, to feel like)
**envier,** *v a*, to envy, to long for
**environ,** *adv*, about, thereabouts
**environs,** *n m*, *plur*, vicinity
**envisager,** *v a*, to stare in the face, to consider
**envoi,** *n m*, sending, parcel
**envoyer,** *v a*, to send
**épais, -se,** *adj*, thick
**épaisseur,** *n f*, thickness
**épaissir,** *v a*, *v n*, to thicken
**épargner,** *v a*, to save, to spare
**épars, -e,** *adj*, scattered
**épaule,** *n f*, shoulder
**épice,** *n f*, spice
**épingle,** *n f*, pin
**épingler,** *v a*, to pin
**éponge,** *n f*, sponge
**éponge de platine,** platinum sponge
**époque,** *n f*, period, time
**épouvantable,** *adj*, dreadful
**épreuve,** *n f*, proof, test, trial
**éprouver,** *v a*, to feel, to try
**éprouvette,** *n f*, liquor gauge, gas bottle
**éprouvette à dessécher les gaz,** drying bottle
**éprouvette graduée,** graduated cylinder
**épuisé, -e,** *adj*, drained, worn out, exhausted
**épuisement,** *n m*, draining, exhaustion
**épuiser,** *v a.*, to exhaust, to drain
**épuration,** *n f.*, purification, refining
**épuratoire,** *adj.*, purifying
**épurer,** *v a.*, to purify
**équilibre,** *n. m.*, equilibrium

**équilibrer,** *v a*, to poise, to place in equilibrium
**équipage,** *n m.*, equipment
**équiper,** *v a.*, to fit out
*s'***équiper,** *v r*, to equip one's self
**érable,** *n m*, maple-tree
**ériger,** *v a*, to erect
**errer,** *v a*, *v n.*, to wander, to be mistaken
**erreur,** *n. f*, error, mistake
**espace,** *n m*, space
**espacer,** *v a*, to space
**espèce,** *n f*, species, kind
**espérance,** *n f*, hope
**espérer,** *v a*, to hope, to expect
**espoir,** *n m*, hope
**esprit,** *n. m*, spirit, soul, mind, meaning
**esquisse,** *n f*, outline
**esquisser,** *v a*, to outline
**esquiver,** *v a*, to evade, to avoid
*s'***esquiver,** *v r*, to escape
**essai,** *n m*, trial, assaying, analysis
(prise d'essai, sample for analysis)
**essayer,** *v a*, to try, to assay
**essayé,** *adj*, analyzed, essayed
**essence,** *n f*, essence, substance
**essence d'amandes amères,** essence or oil of bitter almonds
**essence de moutarde,** mustard oil
**essence de térébenthine,** turpentine oil
**essentiel, -le,** *adj*, essential
**essorer,** *v a*, to dry in the air
**essuie-main,** *n m*, towel
**essuyer,** *v a*, to wipe
**est,** *n m*, east
**estime,** *n f*, esteem, estimation
**estimer,** *v. a*, to value, to rate, to esteem, to regard
*s'***estimer,** *v. r*, to consider one's self
**estomac,** *n m.*, stomach
**et,** *conj.*, and
**établir,** *v a*, to establish, to prove
*s'***établir,** *v r*, to establish one's self, to settle
**établissement,** *n. m*, establishment, setting up, business house
**étage,** *n m.*, story, floor, layer
**étain,** *n m.*, tin
**étain en grenaille,** granulated tin
**étaler,** *v a*, to spread out, to display
**étalon,** *n m*, standard
(pile étalon, standard cell)
**étanche,** *adj*, water and air tight
**étanchéité,** *n f*, tightness
**état,** *n m*, state, profession
**éteindre,** *v a*, to extinguish, to put out
*s'***éteindre,** *v r*, to be extinguished, to go out
**éteint, -e,** *adj*, extinguished, extinct
**étendre,** *v a*, to spread, to extend
*s'***étendre,** *v r*, to stretch one's self, to extend
**étendu, -e,** *part*, stretched, extended, dilute, diluted
**étendue,** *n f*, extent, expanse
**éther,** *n m*, ether
**éther-sel,** *n m*, ethereal salt, ester
**éthéré, -e,** *adj*, ethereal
**étincelant, -e,** *adj*, sparkling
**étinceler,** *v a*, to sparkle
**étincelle,** *n f*, spark
**étiquette,** *n f*, label
**étirer,** *v a*, to stretch, to draw out
**étoffe,** *n f*, stuff, cloth
**étoile,** *n f*, star
**étonnement,** *n m*, astonishment
**étonner,** *v a.*, to astonish
**étouffer,** *v a.*, to suffocate, to smother
**étoupe,** *n. f*, oakum
**étrange,** *adj*, strange
**étranger, étrangère,** *n.*, foreigner
**étrang-er, -ère,** *adj*, strange, foreign
**étranglement,** *n. m*, strangling, narrowing

**étrangler,** *v. a.*, to strangle, to narrow
**être,** *v. n.*, to be
**être,** *n. m.*, being
**étrécir,** *v. a.*, to narrow
**étreindre,** *v. a.*, to tie, to press
**étrier,** *n. m.*, stirrup (of balance)
**étroit, -e,** *adj.*, narrow, intimate
**étroitement,** *adv.*, narrowly, closely
**étude,** *n. f.*, study
**étudiant,** *n. m.*, student
**étudier,** *v. a.*, to study
**étui,** *n. m.*, case, sheath
**étuve,** *n. f.*, drying-oven, bath
**étuve à air chaud,** hot air oven
(sécher à l'étuve, to dry in the oven)
**eux,** *pron.*, *m. plur.*, they, them
**eux-mêmes,** themselves
**évacuer,** *v. a.*, to evacuate
**s'évader,** *v. r.*, to escape
**évaluer,** *v. a.*, to value, to estimate, to rate
**évaporer,** *v. a.*, to evaporate
**évasé,** *adj.*, widened
**évaser,** *v. a.*, to widen
**éveiller,** *v. a.*, to awake, to awaken
**évènement,** *n. m.*, event, occurrence
**éviter,** *v. a.*, to avoid
**évoquer,** *v. a.*, to evoke, to call to mind
**exactement,** *adv.*, exactly
**exactitude,** *n. f.*, accuracy, precision
**exalter,** *v. a.*, to exalt, to extol
**examen,** *n. m.*, examination
**examiner,** *v. a.*, to examine
**excédent,** *n. m.*, surplus, excess
**excéder,** *v. a.*, to exceed
**exceller,** *v. n.*, to excel
**excès,** *n. m.*, excess
**exciter,** *v. a.*, to excite, to provoke, to irritate
**exécuter,** *v. a.*, to execute, to perform
**s'exécuter,** *v. r.*, to be performed
**exemple,** *n. m.*, example, copy
**exercer,** *v. a.*, to exercise, to practise
**exhaler,** *v. a.*, to exhale, to emit
**exhiber,** *v. a.*, to exhibit, to show
**exiger,** *v. a.*, to exact, to demand
**exister,** *v. a.*, to exist, to live
**expérimenter,** *v. a.*, to experiment
**expirer,** *v. a.*, to expire
**expliquer,** *v. a.*, to explain
**exposé,** *n. m.*, statement, outline
**exposer,** *v. a.*, to expose, to state, to explain
**s'exposer à,** *v. r.*, to expose one's self, to be liable
**exprès,** *adv.*, expressly
**exprimer,** *v. a.*, to express
**expulser,** *v. a.*, to expel
**exsiccateur,** *n. m.*, desiccator
**extérieur,** *n. m.*, exterior, outside
**extrait,** *n. m.*, extract, abstract

## F

**fabrication,** *n. f.*, manufacture
**fabriquer,** *v. a.*, to manufacture
**fabriqué, -e,** *adj.*, manufactured
**face,** *n. f.*, front, aspect, surface
(en face de, opposite)
**facette,** *n. f.*, facet
**fâcheu-x, -se,** *adj.*, grievous, vexatious
**facile,** *adj.*, easy
**facilement,** *adv.*, easily, readily
**facilité,** *n. f.*, ease, fluency
**faciliter,** *v. a.*, to facilitate, to make easy
**façon,** *n. f.*, way, manner, fashion, workmanship
(à la façon de, after the manner of; de cette façon, in this way; de façon que, so that, in such a way as)
**factice,** *adj.*, factitious, artificial
**facture,** *n. f.*, invoice, bill
**facultati-f, -ve,** *adj.*, optional

**faculté,** *n. f.*, faculty, ability, power, quality, college
**fade,** *adj.*, insipid, tasteless
**fadement,** *adv*, insipidly
**fadeur,** *n. f.*, insipidity
**faible,** *adj.*, weak, feeble, faint, deficient
**faible,** *n. m*, weakness
**faiblement,** *adv*, weakly, faintly
**faiblesse,** *n. f*, weakness, deficiency, defect
**faiblir,** *v n*, to relax, to become weak, to slacken
**faience,** *n f.*, crockery-ware
**faillir,** *v n*, to err, to fail, to be on the point of
**faim,** *n. f.*, hunger
(avoir faim, to be hungry)
**faîne,** *n f*, beech nut tree
(**huile de faîne,** beech nut oil)
**faire,** *v a*, *v n*, to make, to do, to perform, to take (a ride or a walk)
**faire bien,** to do well, to do right
**faire du mal,** to inflict injuries
**faire faire,** to have done
**faire** (with expressions of weather), to be
**faire le vide,** to evacuate
*se* **faire,** *v r*, to take place, to be used to
**faisable,** *adj*, feasible, practicable
**faisceau,** *n m*, bundle, sheaf
**fait,** *n m*, fact, act, point
**fait, -e,** *part*, made, done, qualified, (tout fait, ready made)
**fallacieu-x, -se,** *adj.*, fallacious
**falloir,** *v. imp*, must, should, ought, to be necessary, to need
*s'en* **falloir,** *v r*, to be wanting, to be on the point
**falsifié, -e,** *adj*, adulterated
**falsifier,** *v a.*, to adulterate
**fameu-x, -se,** *adj.*, famous, renowned
**familiariser,** *v. a*, to accustom to
*se* **familiariser,** *v. a*, to familiarize one's self, to accustom one's self to
**famili-er, -ère,** *adj*, familiar, intimate
**familièrement,** *adv*, familiarly
**famille,** *n. f*, family
**fantaisie,** *n f.*, imagination, whim
**fantasque,** *adj*, fantastic, fanciful
**fardeau,** *n m.*, burden, load, weight
**farine,** *n f*, flour
**fascicule,** *n m*, small bundle (of plants, small pamphlet)
**fatal, -e,** *adj*, fatal
**fatalement,** *adv.*, fatally
**fatigant, -e,** *adj*, tiresome, irksome
**fatigue,** *n f*, fatigue, toil, hardship
**fatigué, -e,** *adj*, fatigued, tired
**fatiguer,** *v a*, to tire, to overwork
*se* **fatiguer,** *v r*, to tire one's self
**faussement,** *adv*, falsely, erroneously
**faussé, -e,** *adj*, inaccurate, vitiated
**fausser,** *v a*, to violate, to falsify, to warp
**fausset,** *n m*, spigot
**faussete,** *n f*, falseness, insincerity
**faute,** *n f*, fault, mistake, error, want
(à faute de, in default of, **sans** faute, without fail)
**fau-x, -sse,** *adj*, false, erroneous
**faveur,** *n f*, favor, vogue
**favorable,** *adj*, favorable, propitious
**favorablement,** *adv*, favorably
**favoriser,** *v a*, to favor, to assist
**fécond, -e,** *adj*, prolific, fertile, fruitful
**fécule,** *n f*, potato starch
**feindre,** *v. a.*, to feign, to pretend
**fendre,** *v. a*, to split, to cleave
**fenêtre,** *n. f*, window, aperture
**fente,** *n. f.*, slit, gap, rent
**fer,** *n. m.*, iron
**fer-blanc,** *n. m*, tinned iron

**fermant, -e,** *adj.,* closing
**ferme,** *adj.,* firm, steady, resolute
**fermer,** *v. a.,* to close, to shut
*se* **fermer,** *v. r.,* to shut, to be enclosed
**fermeté,** *n. f.,* firmness, stability
**fermeture,** *n. f.,* closing, shutting
**ferrer,** *v. a.,* to bind with iron
**ferricyanure,** ferricyanide
**ferrocyanure,** ferrocyanide
**ferrugineu-x, -se,** *adj.,* ferruginous
**fertilisant, -e,** *adj.,* fertilizing
**fertiliser,** *v. a.,* to fertilize, to manure
**fertilité,** *n. f.,* fertility
**fétide,** *adj.,* sickening
**feu,** *n. m.,* fire, fire-place
**feu nu,** free flame
**feuille,** *n. f.,* leaf, sheet
**feutre,** *n. m.,* felt
**feutrer,** *v. a.,* to felt
**février,** *n. m.,* February
**fibreu-x, -se,** *adj.,* fibrous, stringy
**ficelle,** *n. f.,* twine, string
**fidèle,** *adj.,* faithful, loyal
**fidèlement,** *adv.,* faithfully
**fidélité,** *n. f.,* faithfulness, loyalty
*se* **fier,** *v. r.,* to trust to, to rely upon
**fi-er, -ère,** *adj.,* proud
**fièrement,** *adv.,* proudly
**fierté,** *n. f.,* pride
**fièvre,** *n. f.,* fever
**fiévreu-x, -se,** *adj.,* feverish, restless
**figer,** *v. a.,* **se figer,** *v. r.,* to congeal, to coagulate
**figure,** *n. f.,* figure, form, shape
**figurer,** *v. a.,* to figure
*se* **figurer,** *v. r.,* to imagine
**fil,** *n. m.,* thread
**fil de fer,** *n. m.,* iron wire
**filamenteu-x, -se,** *adj.,* stringy
**filandreu-x, -se,** *adj.,* stringy
**filature,** *n. f.,* spinning, spinning-mill
**file,** *n. f.,* row, rank, file
**filet,** *n. m.,* stream (of liquid)
**fileté,** *adj.,* threaded
**filtrage,** *n. m.,* filtering, straining
**filtre,** *n. m.,* filter
**filtre à plis,** *n. m.,* folded filter
**filtrer,** *v. a.,* to filter, to percolate
**filtrer dans le vide,** to filter by suction
**fin,** *n. f.,* end, conclusion
**fin, -e,** *adj.,* fine, thin, delicate
**finalement,** *adv.,* finally
**finement,** *adv.,* artfully, shrewdly
**finesse,** *n. f.,* delicacy, ingenuity, shrewdness
**fini, -e,** *adj.,* finished, complete
**finir,** *v. a., v. n.,* to finish, to complete, to be over
**fiole,** *n. f.,* bottle, flask
**fiole conique pour filtrer,** filter flask
**fixe,** *adj.,* fixed, stationary, regular
**fixer,** *v. a.,* to fix, to fasten, to determine
**fixité,** *n. f.,* stability
**flacon,** *n. m.,* bottle
**flacon compte-gouttes,** dropping bottle
**flacon de Wolf,** Wolf bottle
**flacon laveur,** wash bottle
**flamber,** *v. a.,* to singe, to fire
**flamme,** *n. f.,* flame, fire
**flamme éclairante,** luminous flame
**flamme nue,** free flame
**flèche,** *n. f.,* arrow, spire
**fléchir,** *v. a.,* to bend, to yield, to give way
**fleur,** *n. f.,* flower, bloom
**fleurir,** *v. n.,* to flower, to bloom
**flocon,** *n. m.,* flake
**flotter,** *v. n.,* to float
**flotteur,** *n. m.,* water-gauze, float
**fluor,** *n. m.,* fluorine
**fluté, -e,** *adj.,* fluted
**foi,** *n. f.,* faith, belief
**foie,** *n. m.,* liver
**fois,** *n. f.,* time
**foisonner,** *v. n.,* to abound

**fonctionnel, -le,** *adj*, working, characteristic
**fonctionnement,** *n m.*, working, operating
**fonctionner,** *v n*, to work, to act
**fond,** *n. m.*, bottom, foundation, background
**fondant, -e,** *adj.*, melting
**fondant,** *n m*, flux
**fondat-eur, -rice,** *n*, founder
**fondation,** *n f*, foundation, endowment
**fondement,** *n. m*, foundation, basis
**fonder,** *v a*, to lay the foundation, to build, to endow
**fondre,** *v a*, *v n*, to melt, to dissolve
*se* **fondre,** *v r*, to dissolve, to blend
**fonds,** *n m*, ground, capital, ready money
**fonte,** *n f*, melting, cast iron, smelting
**force,** *n f*, strength, energy, power
**forcément,** *adv*, forcibly, by force, necessarily
**forcer,** *v a*, to force, to break open, to break through
**forme,** *n f*, form, shape, make, mould, frame
**formène,** *n m*, methane
**former,** *v a*, to form, to frame, to fashion, to mould
*se* **former,** *v r*, to be formed, to assume a shape
**formule,** *n f*, formula
**formule brute,** empirical formula
**formule de constitution,** constitutional or structural formula
**fort, -e,** *adj.*, strong, powerful, skilful
**fort,** *adv.*, very, very much, extremely
**fortement,** *adv*, strongly, much
**fortifier,** *v. a*, to fortify, to strengthen
**fosse,** *n. f.*, hole, pit, trench
**fouetter,** *v a*, to whip
**fouiller,** *v a.*, to search, to excavate
**foule,** *n f*, crowd, multitude
**four,** *n m*, oven, kiln
**fourche,** *n f*, fork
(**tube à fourche,** Y tube)
**fourché, -e,** *adj*, forked
**fourchette,** *n f*, fork
**fourchu, -e,** *adj*, forked
**fourneau,** *n m.*, stove, furnace
**fourneau à incinération,** muffle furnace
(haut fourneau, blast furnace)
**fournir,** *v a*, to furnish, to provide, to stock
**fourniture,** *n f*, furnishing, supply
**fourrage,** *n m*, fodder
**foyer,** *n m*, fire-grate, focus of a lens
**fractionné, -e,** *adj*, fractional
(distillation fractionnée, fractional distillation)
**fragile,** *adj.*, fragile, brittle
**fra-is, -îche,** *adj*, cool, recent
**frais,** *n m*, *plur*, expenses, charges
**franc, -he,** *adj.*, frank, free
**franchement,** *adv*, frankly, openly
**franchir,** *v a*, to cross, to pass over, to surmount
**franco,** *adv*, free of charge
**frapper,** *v a*, to strike
**fraude,** *n f*, fraud
**frauder,** *v a*, to defraud
*se* **frayer,** *v r*, to open a way
**frein,** *n m*, brake, check, curb
**frémissement,** *n m*, simmering, shuddering, trembling
**fréquemment,** *adv.*, frequently
**fréquence,** *n. f.*, frequency
**fréquenter,** *v a*, *v. n.*, to frequent, to keep company with
**frère,** *n. m.*, brother
**froid,** *n m.*, cold
**froid, -e,** *adj.*, cold, indifferent

**froidement**, *adv.*, coldly
**fromage**, *n m.*, cheese
**fromagerie**, *n. f*, cheese-dairy
**froment**, *n m*, wheat
**front**, *n. m.*, forehead, front, face
**frottement**, *n. m.*, rubbing, friction
**frotter**, *v. a.*, to rub
**fructueu-x, -se**, *adj.*, fruitful, profitable
**fruit**, *n. m*, fruit
**fruité, -e**, *adj*, fruity, of fruit
**frustrer**, *v a*, to frustrate, to baffle
**fugace**, *adj*, fugitive, transient
**fugiti-f, -ve**, *adj*, fugitive, transient
**fuir**, *v. a.*, *v. n.*, to flee, to avoid, to leak
**fuite**, *n f*, flight, leakage
**fuligineu-x, -se**, *adj*, smoky, sooty
**fumée**, *n f.*, smoke, fume
**fumer**, *v. n*, to smoke, to manure
**fumier**, *n. m*, manure
**fur** (au fur et à mesure, in proportion, as)
**fureur**, *n f*, fury, passion
**fusion**, *n. f*, fusion, melting, blending
**fusion à la soufflerie**, sealing with the blast
**fuyant, -e**, *adj*, fleeing, fading

## G

**gagner**, *v a*, to gain, to earn, to win
**gaiac**, *n. m.*, guaiacum
**gain**, *n m*, gain, profit
**gaine**, *n f*, sheath, case
**galène**, *n. f.*, galena
**galle**, *n f*, gall
(noix de galle, gall-nut)
**gallique**, *adj.*, gallic
**galvanique**, *adj.*, galvanic
**gamme**, *n f.*, scale, gamut
**gangue**, *n. f*, gangue
**garance**, *n f*, madder-root
**garantie**, *n. f.*, guaranty, voucher
**garantir**, *v. a.*, to guarantee, to warrant, to ensure
*se* **garantir**, *v r.*, to protect one's self
**garde**, *n. f.*, keeping, guard, watch
**garder**, *v a.*, to keep, to preserve
*se* **garder de**, *v r.*, to take care not to
**garnir**, *v a.*, to furnish, to provide
**garniture**, *n f.*, furniture, lining
**gâté, -e**, *adj.*, spoiled, damaged
**gâteau**, *n m.*, cake
**gâter**, *v. a.*, to spoil, to damage
**gauche**, *n. f*, left-hand
**gauche**, *adj*, left, awkward
**gauchement**, *adv.*, awkwardly
**gaz**, *n. m.*, gas
**gaz d'éclairage**, illuminating gas
**gaz des marais**, marsh gas
**gaze**, *n f.*, gauze
**gazéifiable**, *adj*, which can be volatilized
**gélatineu-x, -se**, *adj.*, gelatinous
*se* **gélatinifier**, *v r.*, to gelatinate
**gelé, -e**, *adj*, frozen
**gelée**, *n f*, frost
**geler**, *v a*, *v n*, to freeze
**gemme**, *adj*, (sel gemme, rock salt)
**gênant, -e**, *adj*, troublesome
**gêne**, *n f.*, constraint, trouble, uneasiness
**gêné, -e**, *adj.*, constrained, uneasy
**gêner**, *v a*, to impede, to obstruct, to annoy
*se* **gêner**, *v r*, to put one's self to inconvenience
**généralement**, *adv.*, generally
**générat-eur, -rice**, *n.*, generator
**généreusement**, *adv*, generously
**généreu-x, -se**, *adj*, generous
**générique**, *adj.*, generic
**génie**, *n. m*, genius
**genou**, *n m*, knee
**genre**, *n m*, genus, kind, manner
**gerbe**, *n. f*, sheaf
**germe**, *n m*, germe, bud

**germer,** *v. n.*, to sprout, to spring up
**girofle,** *n m.*, clove
**gisant, -e,** *adj.*, lying
**gisement,** *n m.*, layer, bed, deposit
**glace,** *n f.*, ice, mirror
**glacé, -e,** *adj.*, frozen
**glacer,** *v a.*, to freeze, to chill
**glacial, -e,** *adj.*, icy, frigid, glacial
**glacière,** *n f.*, ice-house, ice-box
**glaise,** *adj.*, loamy, clayey
**glande,** *n f.*, gland
**glissant, -e,** *adj.*, slippery
**glisser,** *v n.*, to slip, to slide
**gluant, -e,** *adj.*, sticky
**gomme,** *n f.*, gum
**gond,** *n m.*, hinge
**gonfler,** *v a.*, to swell, to inflate
**gorge,** *n. f.*, throat, mouth, orifice
**goudron,** *n. m.*, tar
**goudron de houille,** coal tar
**goudronneu-x, -se,** *adj.*, tarry
**goulot,** *n m.*, neck of a bottle or flask
**goupillon,** *n. m.*, brush for test tubes or flasks
**goût,** *n. m.*, taste
**goûter,** *v a.*, to taste
**goutte,** *n f.*, drop
**gouttière,** *n f.*, gutter, spout, groove
**gouvernable,** *adj.*, governable
**gouverner,** *v a.*, to govern, to rule
**grâce,** *n f.*, grace, favor
**grade,** *n m.*, grade, rank, degree
**gradué, -e,** *adj.*, graduated
**graduel, -le,** *adj.*, gradual
**graduellement,** *adv.*, gradually
**graduer,** *v a.*, to graduate, to calibrate
**grain,** *n. m.*, grain, particle
**graine,** *n. f.*, seed
**graissage,** *n m.*, greasing, lubricating
**graisse,** *n f.*, fat, grease
**graisser,** *v. a.*, to grease, to lubricate
**graisseu-x, -se,** *adj.*, greasy, fatty
**grand, -e,** *adj.*, great, tall, large (en grand, on a large scale)
**grandement,** *adv.*, greatly, vastly, very much
**grandeur,** *n f.*, size, height, greatness
**grandir,** *v. n.*, to grow, to increase
**granuleu-x, -se,** *adj.*, granular, granulated
**graphique,** *adj.*, graphic
**grappe,** *n f.*, cluster
**gras, -se,** *adj.*, fat, oily, fatty (série grasse, fatty series)
**gras,** *n. m.*, fat
**grassement,** *adv.*, plentifully
**gratifier,** *v. a.*, to gratify
**gratis,** *adv.*, free of charge
**gratter,** *v a.*, to scratch, to scrape
**gratuitement,** *adv.*, free, for nothing
**grave,** *adj.*, grave, serious, sedate
**gravé, -e,** *adj.*, engraved
**gravement,** *adv.*, gravely
**graver,** *v. a.*, to engrave, to impress
**gravier,** *n m.*, gravel
**gravité,** *n f.*, gravity, importance
**gravure,** *n f.*, engraving, print
**gré,** *n m.*, will, wish, liking (bon gré, mal gré, whether one will or not)
**grec, -que,** *adj.*, greek
**greffe,** *n f.*, graft
**greffer,** *v a.*, to graft
**grêle,** *adj.*, slender
**grenaille,** *n f.*, granulated metal
**grener,** *v. a.*, to granulate
**grenu, -e,** *adj.*, granulous
**grès,** *n m.*, sandstone, stoneware
**griffe,** *n. f.*, claw, clamp
**grillage,** *n f.*, roasting
**grille,** *n f.*, grate, grating
**griller,** *v a.*, to roast
**grimper,** *v n.*, to climb
**gris, -e,** *adj.*, grey
**gros, -se,** *adj.*, big, large, great
**gros,** *n m.*, bulk, mass

**grosse,** *n. f.*, gross
**grossi-er, -ère,** *adj.*, coarse, rough
**grossièrement,** *adv.*, coarsely
**grossir,** *v. a., v. n.*, to make bigger, to enlarge, to swell, to grow bigger
**grossissant, -e,** *adj.*, magnifying
**groupe,** *n. m.*, group, cluster
**groupement,** *n. m.*, group
**groupement fonctionnel,** characteristic group
**grouper,** *v. a.*, to group
**grumeau,** *n. m.*, clot, lump
**grumeleu-x, -se,** *adj.*, clotted
**guère,** *adv.*, not much, but little, hardly
**guérir,** *v. a.*, to heal, to cure
**guérison,** *n. f.*, recovery, cure
**guide,** *n. m.*, guide, guide-book
**guider,** *v. a.*, to guide, to direct
**guise,** *n. f.*, manner, way
(en guise de, by way of)

H

**habile,** *adj.*, able, clever, skilful
**habilement,** *adv.*, cleverly, skilfully, ably
**habileté,** *n. f.*, ability, skill
**habiller,** *v. a.*, to dress, to wrap up
**habiter,** *v. a.*, to dwell in, to inhabit, to frequent
**habitude,** *n. f.*, habit, custom
**habitué, -e,** *part.*, accustomed, used
**habituel, -le,** *adj.*, habitual, usual
**habituellement,** *adv.*, usually
**habituer,** *v. a.*, to accustom
*s'***habituer à,** *v. r.*, to accustom one's self to
**hacher,** *v. a.*, to chop, to cut to pieces
**hardi, -e,** *adj.*, bold, intrepid
**hardiesse,** *n. f.*, boldness, audacity
**hardiment,** *adv.*, boldly, daringly
**haricot,** *n. m.*, kidney-bean
**harmonie,** *n. f.*, harmony, keeping
**harmonieu-x, -se,** *adj.*, harmonious
**harnacher,** *v. a.*, to harness
**hasard,** *n. m.*, chance, risk
(au hasard, at random)
(par hasard, by chance)
**hasarder,** *v. a.*, to risk, to venture
*se* **hasarder,** *v. r.*, to venture
**hasardeu-x, -se,** *adj.*, hazardous, risky, unsafe
**hâte,** *n. f.*, haste, hurry
**hâter,** *v. a.*, to hasten, to force
*se* **hâter,** *v. r.*, to hasten, to hurry
**hausse,** *n. f.*, rise, advance
**hausser,** *v. a.*, to raise
**haut, -e,** *adj.*, high, tall, loud
**haut,** *n. m.*, top, summit
(haut fourneau, blast furnace)
**haut,** *adv.*, loudly, aloud
**hautement,** *adv.*, aloud, boldly
**hauteur,** *n. f.*, height, altitude
**hémiédrique,** *adj.*, hemiedral
**herbe,** *n. f.*, grass, herb
**héréditaire,** *adj.*, hereditary
**hérédité,** *n. f.*, inheritance, succession, heredity
**hérisser,** *v. a.*, to bristle
**héritage,** *n. m.*, heritage, inheritance
**hériter,** *v. a.*, to inherit
**hermétique,** *adj.*, hermetical
**hermétiquement,** *adv.*, hermetically
**hésiter,** *v. n.*, to hesitate
**hétérogène,** *adj.*, heterogeneous
**heure,** *n. f.*, hour, time
(à l'heure, on time, de bonne heure, early, tout à l'heure, presently)
**heureusement,** *adv.*, fortunately
**heureu-x, -se,** *adj.*, happy, fortunate
**heurter,** *v. a.*, to knock against, to hit, to offend
*se* **heurter,** *v. r.*, to hit one's self, to clash
**hier,** *adv.*, yesterday
**hilarant,** *adj.*, laughing
(gaz hilarant, laughing gas)
**hiver,** *n. m.*, winter

**hommage,** *n. m.,* homage, respects
**homme,** *n. m.,* man
**homologue,** *adj.,* homologous
**honnête,** *adj.,* honest
**honnêtement,** *adv.,* honestly
**honnêteté,** *n. f.,* honesty, propriety
**honneur,** *n. m.,* honor, credit
**honoraire,** *adj.,* honorary
**honorer,** *v. a.,* to honor
**honte,** *n. f.,* shame
(avoir honte, to be ashamed)
**honteu-x, -se,** *adj.,* ashamed, shameful, disgraceful
**horloge,** *n. f.,* clock
**hors,** *prep.,* out, beyond, except, save
**hotte,** *n. f.,* hood
**houille,** *n. f.,* anthracite coal
**huile,** *n. f.,* oil
**huile de lin,** linseed oil
**huile de noix,** walnut oil
**huiler,** *v. a.,* to oil
**huileu-x, -se,** *adj.,* oily
**huit,** *adj.,* eight
**huitième,** *adj.,* eighth
**humecter,** *v. a.,* to moisten
**humeur,** *n. f.,* humour, temper, mood
**humide,** *adj.,* damp, humid, moist
**humidité,** *n. f.,* humidity, dampness
**hydraté, -e,** *adj.,* hydrated
**hydrogène,** *n. m.,* hydrogen
**hydrogène arsenié,** arseniureted hydrogen
**hydrogène phosphoré,** phosphureted hydrogen
**hydrogène sulfuré,** hydrogen sulphide
**hydrogéné, -e,** *adj.,* hydrogenated
**hydrogéner,** *v. a.,* to hydrogenate

## I

**ici,** *adv.,* here
**idée,** *n. f.,* idea, notion, thought
**identifier,** *v. a.,* to identify
**identique,** *adj.,* identical, the same
**identiquement,** *adv.,* identically
**identité,** *n. f.,* identity
**ignorant, -e,** *adj.,* ignorant, unacquainted with
**ignorer,** *v. a.,* to be unacquainted with, not to know
**il,** *pron. m. sing.,* **ils,** *pron. m. plur.,* he, they
**illégalement,** *adv.,* illegally
**illimité,** *adj.,* unlimited
**illisible,** *adj.,* illegible
**illisiblement,** *adv.,* illegibly
**illogique,** *adj.,* illogical
**illogiquement,** *adv.,* illogically
**illuminer,** *v. a.,* to illuminate
**illustre,** *adj.,* illustrious
**illustrer,** *v. a.,* to illustrate
**image,** *n. f.,* image, resemblance, picture
**imaginaire,** *adj.,* imaginary
**imaginer,** *v. a.,* to imagine, to conceive
**s'imaginer,** *v. r.,* to imagine, to believe
**imbiber,** *v. a.,* to imbibe, to soak
**imiter,** *v. a.,* to imitate
**immédiat, -e,** *adj.,* immediate
(analyse immédiate, qualitative analysis)
**immédiatement,** *adv.,* immediately
**immobile,** *adj.,* motionless
**immodérément,** *adv.,* immoderately
**impair, -e,** *adj.,* odd, uneven
**imparfait, -e,** *adj.,* imperfect, incomplete
**imparfaitement,** *adv.,* imperfectly
**s'impatienter,** *v. r.,* to become impatient
**impitoyable,** *adj.,* pitiless, unrelenting
**impitoyablement,** *adv.,* unmercifully
**impliquer,** *v. a.,* to implicate, to infer
**importer,** *v. imp.,* to be of moment, to matter
**importun, -e,** *adj.,* troublesome

**imposant, -e,** *adj.*, imposing, stately
**impôt,** *n. m.*, tax, duty
**imprégner,** *v. a.*, to impregnate
**impression,** *n. f.*, impression, edition
**imprévoyance,** *n. f.*, want of foresight
**imprévu, -e,** *adj.*, unforeseen, unexpected
**imprimeur,** *n. m.*, printer
**impunément,** *adv.*, with impunity
**impur, -e,** *adj.*, impure
**impureté,** *n. f.*, impurity
**imputer,** *v. a.*, to attribute, to ascribe
**inachevé, -e,** *adj.*, unfinished
**inaperçu, -e,** *adj.*, unobserved
**inappliqué, -e,** *adj.*, unattentive
**inapte,** *adj.*, unfit
**inassimilable,** *adj.*, that is not assimilable
**inattaquable,** *adj.*, unassailable, untouched
**inattendu, -e,** *adj.*, unexpected
**incapable,** *adj.*, incapable, unfit
**incarnat, -e,** *adj.*, flesh-colored
**incendie,** *n. m.*, fire
**incendier,** *v. a.*, to burn down
**incertain, -e,** *adj.*, uncertain, questionable
**incertitude,** *n. f.*, uncertainty
**incessammnent,** *adv.*, incessantly
**incidemment,** *adv.*, incidentally
**incliner,** *v. a.*, to incline, to slope
**inclus, -e,** *adj.*, enclosed
**inclusi-f, -ve,** *adj.*, inclusive
**incolore,** *adj.*, colorless
**incomber,** *v. n.*, to be incumbent on anyone
**incommode,** *adj.*, inconvenient
**incommoder,** *v. a.*, to inconvenience
**incompl-et,-ète,** *adj.*, incomplete, unsaturated
**incomplètement,** *adv.*, incompletely, imperfectly
**inconnu, -e,** *adj.*, unknown
**inconséquent, -e,** *adj.*, inconsistent
**inconstance,** *n. f.*, inconstancy, unsteadiness
**inconstant, -e,** *adj.*, inconstant, variable, unsteady
**incontestable,** *adj.*, incontestable, unquestionable
**incorporer,** *v. a.*, to incorporate, to embody
**inculte,** *adj.*, uncultivated
**indécis, -e,** *adj.*, undecided, indeterminate
**indéfini, -e,** *adj.*, indefinite, unlimited
**indéfiniment,** *adv.*, indefinitely
**indéfinissable,** *adj.*, undefinable, unaccountable
**indice,** *n. m.*, indication, sign, factor
**indigéré, -e,** *adj.*, undigested
**indigne,** *adj.*, unworthy
**indignement,** *adv.*, unworthily
**s'indigner,** *v. r.*, to be indignant
**indiquer,** *v. a.*, to indicate, to show
**indiscutable,** *adj.*, unquestionable
**indisposer,** *v. a.*, to upset, to set against
**individu,** *n. m.*, individual
**individuel, -le,** *adj.*, individual
**individuellement,** *adv.*, individually
**indûment,** *adv.*, unduly
**industrie,** *n. f.*, industry, trade, manufacture
**industriel,** *n. m.*, manufacturer
**inébranlable,** *adj.*, immovable, firm
**inédit, -e,** *adj.*, unpublished
**inégal, -e,** *adj.*, unequal, uneven
**inégalement,** *adv.*, unequally, unevenly
**inépuisable,** *adj.*, inexhaustible
**inerte,** *adj.*, inert, sluggish
**inertie,** *n. f.*, inertia, inertness
**inespéré, -e,** *adj.*, unhoped, unexpected
**inespérément,** *adv.*, unexpectedly
**inexact, -e,** *adj.*, inaccurate
**inexactement,** *adv.*, inaccurately

**inexploité,** *adj*, unworked, untilled
***s'*infiltrer,** *v r.*, to seep in, to spread
**infime,** *adj*, lowest
**infini, -e,** *adj*, infinite, numberless
**infini,** *n. m*, infinite
(à l'infini, to infinity)
**infiniment,** *adv.*, infinitely, extremely
**infliger,** *v. a.*, to inflict
**informe,** *adj*, shapeless
**informer,** *v. a*, to inform, to acquaint
***s'*informer,** *v r.*, to inquire
**infructueu-x, -se,** *adj*, unfruitful, unavailing
**ingérer,** *v a.*, to introduce into the stomach through the mouth
**ininterrompu, -e,** *adj*, uninterrupted
**injure,** *n f*, injury, wrong
**injuste,** *adj*, unjust, unfair
**injustement,** *adv*, unjustly, wrongly
**inné,-e,** *adj*, innate, inbred
**inodore,** *adj*, odorless
**inonder,** *v a*, to inundate, to deluge
**inouï, -e,** *adj.*, unheard of
**inoxydable,** *adj*, which cannot be oxydized
**inquiétude,** *n f*, anxiety, uneasiness
**insécable,** *adj*, indivisible
**insensé, -e,** *adj.*, insane, senseless
**insérer,** *v a*, to insert, to put in
**insister,** *v n*, to insist, to persist
**insoutenable,** *adj*, indefensible, insupportable
**instable,** *adj*, unstable
**insu,** *prep*, (à l'insu de, unknown to)
**insuccès,** *n m*, failure
**insuffisamment,** *adv.*, insufficiently
**insuffisance,** *n f.*, insufficiency
**insuffisant, -e,** *adj.*, inadequate, insufficient
**insuffler,** *v a*, to breathe in
**interdire,** *v a.*, to interdict, to forbid
**intéressant, -e,** *adj.*, interesting
**intérêt,** *n m*, interest, share
**interne,** *adj.*, internal
**interpeller,** *v a.*, to summon, to challenge
**interroger,** *v. a*, to question, to consult
**interrompre,** *v a*, to interrupt, to cut off
**interrompu,-e,** *adj*, broken (of a line)
**intervenir,** *v n*, to intervene, to interfere
**interverti, -e,** *adj*, invert
**intime,** *adj*, intimate, inmost
**intituler,** *v a*, to entitle, to call
**introduire,** *v a*, to introduce, to bring in
**inutile,** *adj*, useless, needless
**inutilement,** *adv*, uselessly, needlessly
**invariant, -e,** *adj*, non variant
**invraisemblable,** *adj*, unlikely, improbable
**iode,** *n m*, iodine
**iodé, -e,** *adj*, iodized
**iodoamidonné,** *adj*, starch iodide
**iodure,** *adj*, iodide
**iodure d'alcoyle,** alkyl iodide
**iodure d'éthyle,** ethyl iodide
**ioduré, -e,** *adj*, containing iodine
**irréalisable,** *adj*, that cannot be done
**irréfléchi, -e,** *adj*, thoughtless, heedless
**irrémédiable,** *adj*, not to be remedied, helpless, irretrievable
**irrigable,** *adj*, that can be irrigated
**irritant, -e,** *adj*, irritating
**irriter,** *v a*, to irritate, to provoke, to excite
**isolant, -e,** *adj*, insulating
**isolé, -e,** *adj*, isolated, detached
**isolément,** *adv.*, separately
**isoler,** *v a.*, to isolate, to insulate, to separate
**issu, -e,** *adj.*, descended, sprung
**issue,** *n. f.*, issue, outlet

## J

**jadis,** *adv.*, formerly
**jaillir,** *v. n.*, to spout, to gush out, to burst out
**jaillissant, -e,** *adj.*, spouting, gushing out
**jais,** *n. m.*, jet
**jamais,** *adv.*, never, ever
**jambe,** *n. f.*, leg
**janvier,** *n. m.*, January
**jardin,** *n. m.*, garden
**jauge,** *n. f.*, gauge, calibration mark
(trait de jauge, calibration mark)
**jaugeage,** *n. m.*, gauging, graduation
**jaugeage par écoulement,** graduation for delivery
**jaugeage par emplissage,** graduation for contents
**jauger,** *v. a.*, to gauge, to measure, to calibrate
**jaunâtre,** *adj.*, yellowish
**jaune,** *adj.*, yellow
**jaunir,** *v. n.*, to turn yellow
**je,** *pron.*, I
**jet,** *n. m.*, jet, throw, shot
**jeté, -e,** *adj.*, cast, thrown
**jeter,** *v. a.*, to throw, to cast
*se* **jeter,** *v. r.*, to cast one's self, to fall
**jeu,** *n. m.*, play, gambling
**jeudi,** *n. m.*, Thursday
**jeûn** (**à jeûn,** *adv.*, fasting)
**jeune,** *adj.*, young
**jeûne,** *n. m.*, fasting, fast
**jeûner,** *v. n.*, to fast
**jeunesse,** *n. f.*, youth
**joie,** *n. f.*, joy
**joindre,** *v. a.*, to join, to unite
*se* **joindre,** *v. r.*, to join, to meet
**joint,** *n. m.*, joint, seam
**joint, -e,** *adj.*, joined, united, jointed
**joli, -e,** *adj.*, pretty, nice
**joliment,** *adv.*, prettily, finely, much
**jonc,** *n. m.*, rush, reed
**jonché, -e,** *adj.*, strewed
**joncher,** *v. a.*, to strew
**jouer,** *v. a.*, to play, to feign
*se* **jouer de,** *v. r.*, to play, to mak game of, to baffle
**jouir,** *v. n.*, to enjoy, to be in possession of
**jouissance,** *n. f.*, enjoyment, possession
**jour,** *n. m.*, day, daytime
(en plein jour, in open daylight)
(à jour, open, tous les jours, every day)
**journal,** *n. m.*, journal, newspaper
**journali-er, -ère,** *adj.*, daily
**journée,** *n. f.*, day, day's work
(toute la journée, all day long)
**journellement,** *adv.*, daily, every day
**joyeusement,** *adv.*, cheerfully
**joyeu-x, -se,** *adj.*, joyful, merry
**judicieusement,** *adv.*, judiciously, discreetly
**judicieu-x, -se,** *adj.*, judicious, wise
**juge,** *n. m.*, judge
**jugement,** *n. m.*, judgment, opinion
**juger,** *v. a.*, to judge, to believe
**juillet,** *n. m.*, July
**juin,** *n. m.*, June
**jumeau,** *m.*, **jumelle,** *f.*, *adj.*, twin
**jurer,** *v. a.*, to swear, to vow
**jus,** *n. m.*, juice
**jusque,** *prep.*, to, even, as far as, till until, up to
**juste,** *adj.*, just, right, tight
**juste,** *adv.*, just, exactly
**justement,** *adv.*, justly, precisely
**justesse,** *n. f.*, justness, accuracy, precision
**justice,** *n. f.*, justice, righteousness
**justifiant, -e,** *adj.*, justifying
**justifier,** *v. a.*, to justify
**juteu-x, -se,** *adj.*, juicy

K

**kilo,** *n m*, abbreviation for kilogramme

L

**la,** *art*, the
**la,** *pron*, her, it
**là,** *adv*, there, then, **çà et là,** here and there, **de là,** thence, **par là,** that way
**là-bas,** down there
**là-haut,** up there
**là-dessus,** thereupon
**laboratoire,** *n m*, laboratory
**laborieusement,** *adv*, laboriously, painfully
**laborieu-x, -se,** *adj*, industrious, painful
**labourable,** *adj*, arable
**labourage,** *n m*, tillage, ploughing
**labourer,** *v a*, to till, to plough
**lacérer,** *v a*, to lacerate, to tear up
**lâche,** *adj*, loose, slack, cowardly
**lâcher,** *v a*, to slacken, to loosen, to let go, to release
**laconique,** *adj*, laconic
**lactique,** *adj*, lactic
**lacune,** *n f*, gap, blank
**laid, -e,** *adj*, ugly, unbecoming
**laine,** *n f*, wool
**laineu-x, -se,** *adj*, woolly
**laique,** *adj*, *n m*, lay, layman
**laisser,** *v a*, to leave, to allow
**laisser de,** to stop
*se* **laisser,** *v r*, to allow one's self
**lait,** *n m*, milk
**lait de chaux,** milk of lime
**laitage,** *n m*, milk food
**laitance de poisson,** fish-roe
**laiterie,** *n f*, dairy-farm, dairy-room
**laiteu-x, -se,** *adj.*, milky
**laiton,** *n. m*, brass
**laitue,** *n f*, lettuce
**lambeau,** *n m*, shred, fragment, ribbon
**lame,** *n f*, plate, sheet of metal, blade
**lamé, -e,** *adj*, laminated
**lamelle,** *n f*, lamella
**lamentable,** *adj*, woful
**lamenter,** *v a*, to lament, to bewail, to mourn
**laminage,** *n m*, rolling of metals
**laminer,** *v a*, to roll metals
**laminerie,** *n f*, rolling-mill
**lampe,** *n f*, lamp
**lance,** *n f*, spear
**lancer,** *v a*, to hurl, to issue, to launch
*se* **lancer,** *v r*, to rush, to start
**langage,** *n m*, language, speech
**langoureu-x, -se,** *adj*, languishing
**langue,** *n f*, tongue, language
**langueur,** *n f*, languidness, languor
**languir,** *v n*, to languish, to linger
**languissant, -e,** *adj*, languid, lingering
**laque,** *n f*, lake
(gomme laque, gum-lake)
**laquelle,** *pron, f*, which, who, that
**laquer,** *v a*, to lacker, to varnish
**lard,** *n m*, bacon, lard
**large,** *adj*, wide, broad
**largement,** *adv*, largely, amply, fully
**largeur,** *n f*, width, breadth, broadness
**larme,** *n f*, tear, drop
**las, -se,** *adj*, tired
**lasser,** *v a*, to tire
*se* **lasser,** *v r*, to grow tired
**latéral, -e,** *adj*, lateral
(chaîne latérale, side chain)
(tube latéral, side-neck)
**laurier,** *n m*, laurel, bay-tree
**lavabo,** *n m.*, wash-stand
**lavage,** *n m*, washing, wash
**lavement,** *n. m*, washing, injection
**laver,** *v. a*, to wash

**le,** *art., m.,* **les,** *plur.,* the
**le,** *pron. m.,* **les,** *plur.,* him, it, them
**lécher,** *v. a.,* to lick
**leçon,** *n. f.,* lesson, lecture
**lecture,** *n. f.,* reading, perusal
**légaliser,** *v. a.,* to authenticate
**lég-er, -ère,** *adj.,* light, feeble
**légèrement,** *adv.,* lightly
**légèreté,** *n. f.,* lightness
**légitime,** *adj.,* lawful, legitimate
**légitimement,** *adv.,* lawfully, legitimately
**léguer,** *v. a.,* to leave by will, to bequeath
**légume,** *n. m.,* vegetable, legume
**légumineu-x, -se,** *adj.,* leguminous
**lendemain,** *n. m.,* day after
**lent, -e,** *adj.,* slow
**lentement,** *adv.,* slowly
**lenteur,** *n. f.,* slowness
**lequel, lesquels, lesquelles,** *pron.,* who, whom, which, which one, which ones
**les,** *art. plur.,* the
**lessive,** *n. f.,* wash, washing, solution
**leste,** *adj.,* brisk, nimble, active
**lestement,** *adv.,* briskly
**lettre,** *n. f.,* letter, type
**leur,** *poss. adj.,* their
(le leur, la leur, les leurs, theirs)
**leur,** *pers. pron.,* them, to them
**levé, -e,** *adj.,* raised, risen, lifted up
**lever,** *v. a.,* to lift, to raise up
*se* **lever,** *v. r.,* to get up
**lever,** *n. m.,* rising
**levogyre,** *adj.,* levororatory
**lèvre,** *n. f.,* lip
**levure,** *n. f.,* yeast
**lézarder,** *v. a.,* to crack
**liaison,** *n. f.,* connection, union, bond
**libération,** *n. f.,* deliverance, discharge
**libéré, -e,** *adj.,* liberated, discharged
**libérer,** *v. a.,* to liberate, to discharge
**libraire,** *n. m.,* bookseller
**librairie,** *n. f.,* library, bookshop
**libre,** *adj.,* free, exempt
**librement,** *adv.,* freely
**lie,** *n. f.,* dregs, grounds
**lie des vins,** argol
**lié, -e,** *adj.,* tied, bound
**liège,** *n. m.,* cork
**lien,** *n. m.,* strap, band, bonds
**lier,** *v. a.,* to tie, to bind
*se* **lier,** *v. r.,* to bind, to thicken, to form a connection
**lierre,** *n. m.,* ivy
**lieu,** *n. m.,* place, spot, occasion
(au lieu de, instead of, avoir lieu, to take place)
**ligne,** *n. f.,* line, path
**limaille,** *n. f.,* filings
**limer,** *v. a.,* to file
**limiter,** *v. a.,* to limit, to confine
**limoneu-x, -se,** *adj.,* muddy, turbid
**limpide,** *adj.,* clear
**limure,** *n. f.,* filings
**lin,** *n. m.,* flax
(huile de lin, linseed oil)
**linge,** *n. m.,* linen, cloth
**lingot,** *n. m.,* bullion, cube
**liquéfier,** *v. a.,* to liquefy
**liqueur,** *n. f.,* liquor, liquid, solution
**liqueur de Fehling,** Fehling's solution
**liqueur titrée,** standardized solution
**liquide,** *adj.,* liquid, watery
**lire,** *v. a.,* to read
**lisière,** *n. f.,* border
**lisse,** *adj.,* smooth, glossy
**lisser,** *v. a.,* to smooth, to polish
**liste,** *n. f.,* list, catalog
**lit,** *n. m.,* bed, stratum
**livraison,** *n. f.,* delivery of goods
**livre,** *n. m.,* book
**livrer,** *v. a.,* to deliver, to give up
*se* **livrer à,** *v. r.,* to devote one's self
**local,** *n. m.,* habitation, premises
**loger,** *v. a.,* to lodge, to live
*se* **loger,** *v. r.,* to lodge

**logique,** *adj*, logical
**loi,** *n f*, law, rule
**loin,** *adv.*, far, distant, remote
**lointain, -e,** *adj.*, remote
**loisir,** *n m*, leisure, spare time
**long, -ue,** *adj.*, long, tedious
**long,** *n m.*, length
(tout le long, all along)
**longer,** *v a*, to walk along
**longtemps,** *adv.*, a long while
**longuement,** *adv*, a long time, a great while
**longueur,** *n f.*, length
**lors,** *adv*, then
(dès lors, from that time, lors de, at the time of)
**lorsque,** *conj*, when
**lot,** *n m*, lot, portion, share
**louable,** *adj*, commendable, praiseworthy
**louange,** *n m*, praise
**louche,** *n m*, turbidity
**louer,** *v a*, to rent, to let, to hire, to praise
**loupe,** *n f.*, lens, eye-glass, magnifying-glass
**lourd, -e,** *adj*, heavy
**lourdement,** *adv*, heavily
**loyalement,** *adv.*, loyally, fairly
**lueur,** *n f.*, glimmer, light
**lubréfier,** *v a*, to lubricate
**lui,** *pers pron*, him, to him, to her, to it
**luire,** *v n.*, to shine, to glitter
**luisant, -e,** *adj*, shining, glossy
**lumière,** *n. f*, light
**lumineu-x, -se,** *adj*, luminous
**lundi,** *n. m.*, Monday
**lunette,** *n f*, eye glass, sight glass, peep hole
**lustre,** *n m*, lustre, brilliancy
**lustré, -e,** *adj.*, glossy
**lustrer,** *v a*, to give a gloss to
**lut,** *n m.*, luting
**luter,** *v. a.*, to lute
**lutte,** *n. f.*, struggle, contest
**luzerne,** *n. f.*, lucern, alfalfa

## M

**ma,** *poss. adj.*, my
**macérer,** *v. a.*, to macerate
**mâcher,** *v. a.*, to chew, to masticate
**machinal, -e,** *adj*, mechanical
**machinalement,** *adv.*, mechanically
**machine,** *n f*, machine, engine, machinery
**mâchoire,** *n f.*, jaw, jawbone
**magistrale,** *adj*, masterly
**magnésie,** *n f*, magnesia
**magnésium,** *n m*, magnesium
**magnétiser,** *v a.*, to magnetize
**magnifique,** *adj*, magnificent, gorgeous
**maigre,** *adj*, thin, lean, meagre
**maigrement,** *adv.*, meagerly, poorly
**maigrir,** *v n*, to grow thin
**maille,** *n f.*, mesh, stitch
**main,** *n f*, hand
**main-d'œuvre,** *n f*, workmanship, manual labor
**maint, -e,** *adj*, many
**maintenant,** *adv*, now
**maintenir,** *v a*, to maintain, to sustain
*se* **maintenir,** *v r*, to hold out, to keep up
**maintien,** *n m.*, maintenance, keeping up
**maïs,** *n m*, maize, Indian wheat
**(huile de maïs,** corn oil)
**mais,** *conj*, but
**maison,** *n. f*, house, home
**maître,** *n m.*, master, owner, instructor
**maîtriser,** *v a*, to master, to subdue, to control
**majeur, -e,** *adj.*, major, greater
**majorité,** *n f.*, majority

**majuscule,** *n. f.*, capital letter
**mal,** *n m.*, evil, ill, harm, pain, ache
**mal,** *adv.*, ill, wrong, badly
**malade,** *adj.*, sick, poorly
**maladie,** *n f.*, illness, disease
**maladi-f, -ve,** *adj.*, sickly
**maladresse,** *n f.*, awkwardness
**maladroit, -e,** *adj.*, awkward
**maladroitement,** *adv.*, awkwardly
**malaise,** *n. m.*, uneasiness
**malaisé, -e,** *adj.*, hard, difficult
**malaisément,** *adv.*, with difficulty
**mâle,** *n m.*, male
**malentendu,** *n. m.*, misunderstanding
**malfaisant, -e,** *adj.*, malevolent, unhealthy, injurious
**malgré,** *prep.*, in spite of, notwithstanding
**malheur,** *n. m.*, misfortune
**malheureusement,** *adv.*, unfortunately
**malheureu-x, -se,** *adj.*, unfortunate, unhappy, poor
**malhonnête,** *adj.*, dishonest
**malhonnêtement,** *adv.*, dishonestly
**malice,** *n f.*, malice, spite, maliciousness
**malicieusement,** *adv.*, maliciously, viciously
**malicieu-x, -se,** *adj.*, malicious, vicious
**malle,** *n f.*, trunk
**malpropre,** *adj.*, dirty, slovenly
**malsain,** *adj.*, unhealthy, unwholesome
**manche,** *n m.*, handle
**manche,** *n f.*, sleeve
**manchon,** *n. m.*, mantle, muff
**mandat,** *n. m.*, warrant, draft, money-order
**manger,** *v a.*, to eat, to consume
**maniable,** *adj.*, workable, easy to handle
**maniement,** *n m.*, handling
**manier,** *v a.*, to feel, to handle
**manière,** *n. f.*, manner, way, kind
**manifester,** *v. a.*, to manifest, to make known
**manipuler,** *v a.*, to manipulate
**manque,** *n m.*, want
**manquer,** *v. n.*, *v. a.*, to miss, to fail, to be deficient, to be in need of
**manteau,** *n m.*, cloak, mantle, mask
**manuel, -le,** *adj.*, manual, made by hand
**marais,** *n. m.*, marsh, swamp
**marbre,** *n. m.*, marble
**marchand,** *n. m.*, merchant, dealer
**marchandise,** *n f.*, merchandise, goods
**marche,** *n f.*, walk, gait, progress, advance
**marché,** *n m.*, market, bargain, purchase
**marcher,** *v a.*, to walk, to run, to move on
**mardi,** *n m.*, Tuesday
**marécage,** *n m.*, swamp, bog
**marécageu-x, -se,** *adj.*, swampy
**marée,** *n f.*, tide
**marge,** *n f.*, margin
**marque,** *n f.*, mark, sign, proof
**marqué, -e,** *adj.*, marked, evident
**marquer,** *v a.*, to mark, to brand, to note
**marron,** *n m.*, French chestnut
**marron d'Inde,** horse chestnut
**marronnier,** *n m.*, chestnut tree
**mars,** *n m.*, March
**marsouin,** *n. m.*, porpoise
**marteau,** *n m.*, hammer
**masque,** *n m.*, mask, blind, pretense
**masquer,** *v a.*, to conceal
**masse,** *n f.*, mass
**massi-f, -ve,** *adj.*, bulky
**mastic,** *n. m.*, putty
**massue,** *n f.*, knob
**mat, -e,** *adj.*, dull, unpolished
**matelas,** *n. m.*, mattress
**matière,** *n. f.*, matter, subject, cause

**matière colorante,** dye
**matière première,** raw material
**matière sucrée,** carbohydrate
**matin,** *n. m*, morning
**matras,** *n m*, round bottom flask with long neck
**matras jaugé,** volumetric flask
**matrice,** *n f*, standard weight or measure
**maudire,** *v a.*, to curse
**mauvais, -e,** *adj.*, bad, ill-natured
**méchamment,** *adv*, wickedly
**méchanceté,** *n f*, wickedness
**méchant, -e,** *adj*, bad, wretched, wicked, naughty
**mèche,** *n f*, wick, tinder
**méconnaissable,** *adj*, unrecognizable
**méconnaître,** *v a*, not to know again, not to appreciate
**mécontent, -e,** *adj*, dissatisfied
**mécontentement,** *n m*, dissatisfaction, displeasure
**mécontenter,** *v a*, to displease, to dissatisfy
**médaille,** *n f*, medal, medallion
**médecin,** *n m*, doctor, physician
**médecine,** *n f*, medicine, physic
**médire,** *v n*, to slander
**méditer,** *v a*, to meditate, to think over
*se* **méfier,** *v r*, to mistrust, to distrust
**mégarde,** *n f*, inadvertence
(par mégarde, inadvertently)
**meilleur, -e,** *adj*, better, best
**mélange,** *n m*, mixture, mingling
**mélange réfrigérant,** freezing mixture
**mélanger,** *v a*, to mix, to blend
**mélasse,** *n. f*, molasses
**mêler,** *v a*, to mingle, to mix, to mix up
*se* **mêler,** *v r.*, to mingle, to be mixed
**même,** *adj*, same, self, very
**même,** *adv*, even, also, likewise
**mémoire,** *n f.*, memory, remembrance
**mémoire,** *n m.*, memorandum, bill, article
**menaçant, -e,** *adj.*, threatening
**menace,** *n f*, menace, threat
**menacer,** *v. a*, to threaten, to menace
**ménage,** *n m*, household, housekeeping, saving
**ménager,** *v a*, *v. n.*, to husband, to be careful of, to spare, to save
**ménagé,** *part*, careful
*se* **ménager,** *v r*, to take care of one's self
**ménagère,** *n f*, housewife, housekeeper
**mendier,** *v n*, to beg, to implore
**mener,** *v a*, to carry, to conduct, to lead, to take
**ménisque,** *n m*, meniscus
**mensonge,** *n m*, lie
**mensuel, -le,** *adj*, monthly
**menthe,** *n f*, mint
**menthe verte,** spearmint
**mentionner,** *v a*, to mention
**mentir,** *v n*, to lie
**menton,** *n m*, chin
**mépris,** *n m*, contempt, scorn
**méprise,** *n f*, mistake, oversight
**mépriser,** *v a*, to despise, to scorn
**mer,** *n f*, sea
**merci,** *n f*, mercy
**merci,** *adv*, thanks
**mercredi,** *n m*, Wednesday
**mercure,** *n m*, mercury
**mère,** *n f*, mother
(eau mère, mother liquor)
**mérite,** *n m*, merit, worth
**mériter,** *v a*, *v n*, to deserve
**merveille,** *n f*, wonder, marvel
(à merveille, wonderfully well)
**merveilleusement,** *adv*, wonderfully
**merveilleu-x, -se,** *adj.*, wonderful
**mesquin, -e,** *adj*, mean, paltry, poor

**messieurs,** *n m. plur*, gentlemen, Messrs
**mesure,** *n f.*, measure, dimension, limit, measurement, determination, (à mesure que, as)
**mesurer,** *v a*, to measure, to compare
**méticuleu-x, -se,** *adj*, overscrupulous
**métier,** *n m*, trade
**mettre,** *v a.*, to put, to put on, to lay
*se* **mettre,** *v. r*, to put one's self, to begin
**meuble,** *n m*, furniture
**meubler,** *v a*, to furnish, to stock
**meunier,** *n m*, miller
**meurtri, -e,** *adj*, bruised
**meurtrir,** *v. a*, to bruise
**mi,** *adv*, mid, half
**midi,** *n m*, noon, twelve o'clock, south
**mie,** *n f*, crum, soft part of bread
**miel,** n m, honey
**mien, -ne,** *adj*, mine
**miette,** *n f*, crumb, little bit
**mieux,** *adv*, better, rather, best, more
**mil, mille,** *adj*, thousand
**milieu,** *n m*, middle, midst, centre, medium
**mince,** *adj*, thin, shallow
**mine,** *n f*, mine, source, look, appearance
**minerai,** *n m.*, ore
**minuit,** *n m*, midnight
**minuscule,** *n f*, small letter
**minutieusement,** *adv*, minutely
**miroir,** *n m.*, mirror
**mise,** *n f*, placing, circulation
**mise en marche,** *n f*, starting
**mise en solution,** dissolving
**misérable,** *adj*, miserable, wretched
**misérablement,** *adv*, miserably, wretchedly
**misère,** *n. f*, misery, want
**mitiger,** *v a*, to mitigate, to soften
**mode,** *n f*, mode, fashion
**modèle,** *n m*, model, pattern
**modeler,** *v. a*, to model, to shape
**modérer,** *v a.*, to moderate, to restrain, to reduce
**modifier,** *v a*, to modify
**moelle,** *n f*, marrow, pith
**moelleu-x, -se,** *adj*, pithy, soft
**mœurs,** *n f plur*, manners, habits, ways
**moi,** *pers pron*, I, me, to me
**moindre,** *adj*, less, least
**moins,** *adv*, less, under, minus (à moins de, for less than, unless, à moins que, unless)
**mois,** *n m.*, month
**moisi, -e,** *adj*, mouldy
**moisir,** *v a*, to mould
*se* **moisir,** *v r*, to grow mouldy
**moisson,** *n f*, harvest
**moissonner,** *v a*, to reap, to harvest
**moite,** *adj*, moist, damp
**moitié,** *n f*, half
**molester,** *v a*, to molest, to trouble
**mollement,** *adv*, softly, feebly
**mollesse,** *n f*, softness, slackness
**moment,** *n m*, moment, momentum
**momentanément,** *adv*, momentarily
**mon,** *poss adj m*, ma; *f*, mes; *plur*, my
**monceau,** *n. m*, heap
**monde,** *n m*, world, universe
**monnaie,** *n f*, coin, money
**montagne,** *n f*, mountain
**montant,** *n m*, upright, arm, amount
**montant, -e,** *adj*, ascending, rising
**monter,** *v a*, to mount, to lift up, to set up (of apparatus)
**monter,** *v. n.*, to go up, to ascend
*se* **monter,** *v. r.*, to amount
**montre,** *n. f.*, watch
**montrer,** *v a.*, to show, to set forth
*se* **montrer,** *v r*, to appear

*se* **moquer,** *v. r.*, to make fun of, to ridicule
**morceau,** *n. m.*, piece, bit
**morceler,** *v a.*, to parcel out
**mordant, -e,** *adj.*, biting, cutting
**mordant,** *n. m*, mordant
**mordre,** *v. a.*, to bite, to corrode
**morne,** *adj*, dull, gloomy
**mort,** *n f.*, death
**mort, -e,** *adj*, dead, dormant, still
**mortier,** *n. m*, mortar
**morue,** *n f*, codfish
(huile de foie de morue, codliver oil)
**mot,** *n. m*, word, answer
**mot-eur, -rice,** *adj*, motive
**motif,** *n m*, motive, incentive, cause
**motiver,** *v a*, to allege, to be the cause of
**mou, mol, molle,** *adj*, soft, slack
**mouche,** *n f*, fly
**mouchoir,** *n m*, handkerchief
**moudre,** *v a.*, to grind, to mill
**moufle,** *n m*, muffle
**mouillé, -e,** *adj*, wet
**mouiller,** *v a*, to wet, to moisten
**moulage,** *n m*, moulding, grinding
**moule,** *n. m*, mould, cast
**mouler,** *v a*, to cast, to mould
**moulin,** *n m*, mill
**moulu, -e,** *adj*, ground
**mourir,** *v n*, to die, to stop
**mousse,** *n f*, moss, lather, froth
**mousseu-x, -se,** *adj.*, foaming, frothy
**moutarde,** *n f*, mustard
(huile de **moutarde,** mustard seed oil)
**mouton,** *n m*, sheep, mutton
**mouvement,** *n. m*, movement, motion, fluctuation, life, works of a piece of machinery
**mouvoir,** *v. a.*, to move, to stir up, to excite
*se* **mouvoir,** *v. r.*, to move, to move about
**moyen,** *n. m.*, means, way, medium
**moyen, -ne,** *adj*, mean, middle
**moyennement,** *adv*, moderately
**muet, -te,** *adj.*, mute, speechless, dumb
**munir,** *v. a*, to provide with, to supply
*se* **munir,** *v. r*, to provide one's self, to be supplied
**munition,** *n f.*, ammunition
**muqueu-x, -se,** *adj*, mucous
**mur,** *n m.*, wall
**mûr, -e,** *adj*, ripe, mature, worn out
**muraille,** *n f*, wall
**mûrement,** *adv*, maturely
**murer,** *v a*, to wall up
**mûrir,** *v n*, to ripen, to mature
**murmure,** *n m*, murmur, grumbling
**murmurer,** *v n*, to murmur
**musculeu-x, -se,** *adj*, muscular
**museau,** *n m*, muzzle, nose
**musée,** *n m*, museum
**museler,** *v a*, to muzzle, to gag
**mutiler,** *v a*, to mutilate, to maim
*se* **mutiner,** *v. r*, to mutiny
**mutuel, -le,** *adj*, mutual, reciprocal
**mutuellement,** *adv*, mutually

## N

**nacelle,** *n f*, boat for combustion furnace
**nacre,** *n f*, mother of pearl
**nager,** *v n*, to swim, to float
**naï-f, -ve,** *adj*, naive, simple, unaffected
**naissance,** *n. f.*, birth, rise
**naissant, -e,** *adj*, newly born, nascent
**naître,** *v n.*, to be born, to arise
**naïvement,** *adv*, naively, candidly
**naphte,** *n m*, naphtha
**nappe,** *n f*, cloth, table-cloth
**narcotique,** *n m*, narcotic
**narguer,** *v a*, to defy, to set at defiance

**natif, -ve,** *adj*, native, natural
**nativité,** *n. f.*, birth
**natte,** *n. f*, mat, matting
**naturel, -le,** *adj*, natural, inherent, plain
**naturellement,** *adv.*, naturally
**nauséabond, -e,** *adj*, nauseous
**nausée,** *n f*, nausea
**navette,** *n f*, rape-seed, shuttle
**navire,** *n m*, ship
**ne guère,** *adv*, hardly
**ne jamais,** *adv.*, never
**ne pas,** *adv.*, not, no
**ne pas encore,** *adv*, not yet
**ne personne,** *adv*, no one
**ne plus,** *adv*, no more, no longer
**ne que,** *adv*, only
**ne rien,** *adv*, nothing
**né, -e,** *part*, born
**néanmoins,** *adv*, nevertheless, however
**néant,** *n m*, nothing, naught
**nébuleux, -se,** *adj*, nebulous, cloudy
**nécessaire,** *adj*, necessary
**nécessaire,** *n. m*, necessaries
**nécessairement,** *adv*, necessarily
**nécessité,** *n f*, necessity, need
**nécessiter,** *v a*, to compel
**néfaste,** *adj*, of evil omen, unlucky
**négligé, -e,** *adj*, neglected
**négligeable,** *adj*, that can be neglected
**négligemment,** *adv*, carelessly
**négligence,** *n f.*, neglect
**négligent, -e,** *adj*, negligent, neglectful
**négocier,** *v n*, to negotiate, to trade
**neige,** *n f*, snow
**neigeux, -se,** *adj*, snowy
**nerf,** *n m*, nerve
**nerprun,** *n m*, buck thorn
(**huilie de nerprun,** buck thorn oil)
**nerveux, -se,** *adj*, nervous, sinewy
**net, -te,** *adj*, neat, pure, plain, definite
**net,** *adv*, clean, entirely, flatly
**nettement,** *adv*, neatly, distinctly, plainly
**netteté,** *n f.*, cleanness, neatness, clearness
**nettoyer** *v a*, to clean, to cleanse, to wipe
**neuf,** *n., adj*, nine
**neuf, -ve,** *adj.*, new
**neutralisant,** *n m*, neutralizing body
**neutralisation,** *n f*, neutralization
**neutraliser,** *v a*, to neutralize
**neutre,** *adj*, neutral, neuter
**neuvième,** *adj*, ninth
**nez,** *n m.*, nose
**ni ni,** *conj*, neither nor
**niable,** *adj*, deniable
*se* **nicher,** *v r*, to nestle
**nid,** *n m*, nest
**nier,** *v a*, to deny
**nitré, -e,** *adj*, nitrated, nitro
**nitreux, -se,** *adj*, nitrous
**nitrifier,** *v a*, to nitrate
**nitrique,** *adj*, nitric
**niveau,** *n m*, level
**niveler,** *v a*, to level
**noblement,** *adv*, nobly
**nodule,** *n g*, nodule
**nœud,** *n. m*, knot, tie, bond
**noir, -e,** *adj*, black
**noir,** *n m*, black
**noir animal,** boneblack, animal charcoal
**noir de fumée,** lampblack
**noirceur,** *n. f*, blackness, baseness
**noircir,** *v a*, to blacken, to stain
**noix,** *n f*, nut, walnut
(**huile de noix,** walnut oil)
**nom,** *n m.*, name, noun, fame
**nombre,** *n m*, number, quantity
**nombreux, -se,** *adj.*, numerous
**nommer,** *v. a*, to name, to elect

**non,** *adv.,* no, not
**nonchalamment,** *adv,* carelessly
**nonchalance,** *n f,* carelessness
**nonchalant, -e,** *adj.,* careless
**nord,** *n m,* north
**nos,** *poss adj plur,* our
**notamment,** *adv,* specially
**note,** *n f.,* note, mark, account, memorandum
**noter,** *v a,* to note, to observe
**notion,** *n f,* notion, idea
**notre,** *poss adj,* our
**nôtre,** *poss pron,* ours
**noué, -e,** *adj.,* tied
**nouer,** *v. a,* to tie, to knot
**noueu-x, -se,** *adj,* knotty
**nourri, -e,** *adj,* nourished, fed
**nourrir,** *v a,* to nourish, to feed, to cherish
*se* **nourrir,** *v r,* to feed, to live
**nourrissant, -e,** *adj,* nutritive, nourishing
**nourriture,** *n. f,* food, nourishment
**nous,** *pers pron,* we, us, to us, each other
**nouveau, nouvel, -le,** *adj,* new, recent
**nouveauté,** *n f,* novelty, change
**nouvelle,** *n f,* news
**nouvelle,** *adj,* new
**nouvellement,** *adv,* lately, recently
**noyau,** *n m,* stone of fruit, nucleus of a ring
**noyau benzénique,** *n m,* benzene nucleus
**noyer,** *v a.,* to drown, to put under water
**nu, -e,** *adj,* naked, bare, plain
**nuage,** *n m,* cloud
**nuageu-x, -se,** *adj.,* cloudy
**nuance,** *n f,* shade, tint
**nuancer,** *v a.,* to shade, to tint
**nuée,** *n f,* cloud, swarm, shower
**nuire,** *v. n,* to hurt, to do harm, to prejudice
**nuisible,** *adj,* injurious, detrimental
**nuit,** *n f.,* night, darkness
**nul, -le,** *pron,* no one, nobody
**nul, -le,** *adj,* void, no, not any
**nullement,** *adv,* not at all, by no means
**nullifier,** *v a.,* to nullify
**numéro,** *n m,* number, size
**numérotage,** *n m,* numbering
**nutriti-f, -ve,** *adj,* nutritive, nourishing

## O

**obéir,** *v n,* to obey, to yield
**obéissance,** *n f,* obedience
**objecter,** *v a,* to object, to reproach with
**objectif,** *n m,* object-glass, aim, end
**objet,** *n m,* object, subject, view, purport
**obligatoire,** *adj,* obligatory, compulsatory
**obligé, -e,** *adj,* obliged, necessary
**obligeamment,** *adv,* obligingly
**obligeance,** *n f,* kindness
**obligeant, -e,** *adj,* obliging, kind
**obliger,** *v a,* to oblige, to compel
**obliquement,** *adv,* obliquely
**obscur, -e,** *adj,* obscure, dark
**obscurcir,** *v a,* to obscure, to darken
*s'***obscurcir,** *v r,* to grow dim
**obscurcissement,** *n m,* dimness
**obscurément,** *adv,* dimly, confusedly
**obscurité,** *n f,* darkness
**observat-eur, -rice,** *adj,* observer, observant
**observer,** *v a,* to observe, to watch
**obstiné, -e,** *adj.,* obstinate, stubborn
**obstinément,** *adv,* stubbornly
*s'***obstiner,** *v r.,* to be obstinate, to insist on
**obstructi-f, -ve,** *adj,* obstructive
**obstruction,** *n. f.,* stoppage, obstruction

**obstrué, -e,** *adj.*, obstructed, stopped
**obstruer,** *v. a*, to obstruct, to stop up
**obtenir,** *v. a.*, to obtain, to get
**obus,** *n. m.*, shell
**obvier,** *v n.*, to obviate
**occasion,** *n f.*, opportunity, occasion (d'occasion, accidentally, second-hand)
**occasionnellement,** *adv*, occasionally
**occasionner,** *v. a.*, to cause
**occlusion,** *n f*, occlusion, shutting up
**occupé, -e,** *adj.*, busy, engaged
**occuper,** *v a*, to occupy, to employ
***s*'occuper,** *v. r.*, to occupy one's self, to attend to
**ocreu-x, -se,** *adj.*, ochre-like
**odeur,** *n f*, odor, smell
**odieu-x, -se,** *adj*, odious, hateful
**odorant, -e,** *adj*, odoriferous, fragrant
**odorat,** *n. m*, smell
**œil,** *n. m*, eye
**œillet,** *n m*, carnation, loop of wire
**œillette,** *n f*, field-poppy
(**huile d'oeillette,** poppy seed oil)
**œuf,** *n m*, egg
**œuvre,** *n f.*, work, piece of work.
**offensant, -e,** *adj*, offensive, obnoxious
**offense,** *n f*, offense
**offenser,** *v. a*, to offend
***s*'offenser,** *v r*, to be offended
**offenseur,** *n m*, offender
**offensi-f, -ve,** *adj.*, offensive
**office,** *n m*, office, duty
**officiel, le,** *adj.*, official
**offre,** *n f*, offer
**offrir,** *v a*, to offer, to propose
**oie,** *n f*, goose
**oignon,** *n m*, onion
**oiseau,** *n m*, bird
**oisi,-f, -ve,** *adj*, idle, doing nothing
**oléagineu-x, -se,** *adj*, oily
**oléine,** *n f*, olein
**oléique,** *adj.*, oleic
**ombrager,** *v a.*, to shade
**ombre,** *n f*, shade, shadow
**on,** *pron.*, one, they, people
**onctueu-x, -se,** *adj.*, unctuous, oily
**onde,** *n. f*, wave
**ondulatoire,** *adj.*, undulatory
**ondulé, -e,** *adj.*, undulated
**onduleu-x, se,** *adj.*, undulating
**onéreu-x, -se,** *adj.*, onerous, burdensome
**ongle,** *n. m.*, nail
**onguent,** *n m.*, ointment
**onze,** *adj*, eleven
**onzième,** *adj.*, eleventh
**opacité,** *n. f*, opaqueness
**opérant, -e,** *adj*, operating
**opératoire,** *adj*, method of preparation
**mode opératoire,** modus operandi
**opérer,** *v. a*, to operate, to perform, to work
**opiat,** *n. m*, opiate
**opiniâtre,** *adj*, stubborn
**opiniâtrement,** *adv*, stubbornly
***s*'opiniâtrer,** *v. r.*, to be obstinate
**opiniâtreté,** *n f*, obstinacy, stubbornness
**opposant, -e,** *adj*, opponent, opposing
**opposé, -e,** *adj*, opposite, contrary
**opposer,** *v a*, to oppose
***s*'opposer,** *v r*, to be opposed
**oppresser,** *v a*, to oppress
**opprimer,** *v a.*, to oppress
**opter,** *v n*, to choose
**optique,** *adj*, optical, optic
**or,** *n m*, gold
**or,** *conj*, but, now
**orage,** *n. m*, storm
**orageu-x, -se,** *adj*, stormy
**oral, -e,** *adj*, oral
**oralement,** *adv*, orally
**orangé, -e,** *adj*, orange-colored
**ordinaire,** *adj*, ordinary, usual

**ordinairement**, *adv.*, usually
**ordonnée**, *n. f.*, ordinate
**ordonné, -e**, *adj.*, ordered, prescribed
**ordonner**, *v. a.*, to order
**ordre**, *n. m.*, order
**ordure**, *n. f.*, filth, dirt, excrement
**oreille**, *n. f.*, ear
**oreiller**, *n. m.*, pillow
**organe**, *n. m.*, organ, medium
**organisé, -e**, *adj.*, organized
**organiser**, *v. a.*, to organize
***s'*organiser**, *v. r.*, to become organized
**orge**, *n. f.*, barley
**orgueil**, *n. m.*, pride
**orienter**, *v. a.*, to set, to turn towards the East
***s'*orienter**, *v. r.*, to discover where one is
**originaire**, *adj.*, originally from, native
**originairement**, *adv.*, originally
**original, -e**, *adj.*, original, queer
**originalement**, *adv.*, originally
**origine**, *n. f.*, origin, source
**originel, -le**, *adj.*, original
**orner**, *v. a.*, to adorn
**os**, *n. m.*, bone
**oscillant, -e**, adj., oscillating
**osciller**, *v. n.*, to oscillate, to vibrate, to fluctuate
**ose**, *n. m.*, rod with platinum wire sealed in
**oseille**, *n. f.*, sorrel
**oser**, *v. a.*, *v. n.*, to dare, to venture
**osseu-x, -se**, *adj.*, bony
**ôter**, *v. a.*, to take off, to take away
**ou**, *conj.*, or, either, or else
**où**, *adv.*, where, in which, to which
**oubli**, *n. m.*, neglect, oblivion, forgetfulness
**oubliable**, *adj.*, liable to be forgotten
**oublier**, *v. a.*, to forget
***s'*oublier**, *v. r.*, to forget one's self
**ouest**, *n. m.*, West, western
**oui**, *adv.*, yes
**ourler**, *v. a.*, to hem
**ourlet**, *n. m.*, hem
**outil**, *n. m.*, tool, implement
**outillage**, *n. m.*, stock of tools
**outillé, -e**, *adj.*, furnished with tools
**outrage**, *n. m.*, outrage, gross insult
**outrageant, -e**, *adj.*, outrageous, reproachful
**outrager**, *v. a.*, to outrage
**outrance**, *n. f.*, extreme, excess
(à outrance, to the finish)
**outre**, *adv.*, further, beyond
**outre**, *prep.*, beyond, besides, in addition to
(en outre, besides)
**outré, -e**, *adj.*, exaggerated
**outremer**, *n. m.*, ultra-marine
**outrepasser**, *v. a.*, to go beyond, to exceed
**ouvert, -e**, *adj.*, open
**ouvertement**, *adv.*, openly
**ouverture**, *n. f.*, opening, aperture
**ouvrage**, *n. m.*, work, piece of work
**ouvragé, -e**, *adj.*, wrought
**ouvrant, -e**, *adj.*, opening
**ouvrier**, *n. m.*, workman, mechanic
**ouvrir**, *v. a.*, to open
**oxalique**, *adj.*, oxalic
**oxhydrile**, *n. m.*, hydroxyl group
**oxyde**, *n. m.*, oxide
**oxyde de carbone**, carbon monoxide
**oxyde puce de plomb**, lead peroxide
**oxyder**, *v. a.*, to oxidize
***s'*oxyder**, *v. r.*, to become oxidized
**oxygène**, *n. m.*, oxygen
**oxyhydrile**, *n. m.*, hydroxyl group

## P

**paille**, *n. f.*, straw, chip
**paillette**, *n. f.*, scale
**pain**, *n. m.*, bread
**pair**, *adj.*, even, like
**paire**, *n. f.*, pair, couple

**paisible**, *adj*, peaceful, quiet
**paisiblement**, *adv*, peacefully
**paix**, *n. f.*, peace, quiet
**pâle**, *adj*, pale
**pâleur**, *n f*, paleness
**palier**, *n. m*, landing-place
**pâlir**, *v n*, to turn pale
**palme**, *n m*, palm tree
**palmier**, *n m.*, palm-tree
**palmiste**, *n m*, palm trees
(**huile de palmiste**, palm kernel, or palm nut oil)
**palpablement**, *adv*, palpably
**palper**, *v. a*, to feel, to finger
**palpitant, -e**, *adj*, palpitating, panting
**palpiter**, *v n*, to palpitate, to throb
**pan**, *n m*, flap, side, piece of wall
**panier**, *n m*, basket
**panique**, *n f*, panic, sudden fright
**pansement**, *n m*, dressing of wounds, grooming of a horse
**panser**, *v a*, to dress wounds, to groom a horse
**papier**, *n m*, paper
**papier à filtrer**, filter paper
**papier à filtrer durci**, hard filter paper
**paquet**, *n m*, bundle, package
**par**, *prep*, by, through, out of, about, into, from, for, at, with, during
**parachever**, *v a*, to complete
**par-dessus**, *prep.*, over, above
**par-dessous**, *prep*, under, underneath
**par-ci, par-là**, *prep*, here and there
**paraître**, *v n*, to appear, to be visible, to seem, to look, to be published
**parceller**, *v a.*, to portion out
**parce que**, *conj*, because, inasmuch as
**parchemin**, *n m.*, parchment
**parcourir**, *v a*, to go over, to run over, to look over, to peruse
**pardon**, *n m*, forgiveness, pardon
**pardonnable**, *adj*, excusable, pardonable
**pardonner**, *v a.*, to pardon, to forgive
**pareil, -le**, *adj*, like, alike, similar, such
**pareil**, *n. m*, equal, match
**pareillement**, *adv*, similarly, likewise, too
**parent**, *n m*, relation, relative
**parenté**, *n. f.*, relationship
**parenthèse**, *n f.*, parenthesis
**parer**, *v a*, to adorn, to guard, to ward off
*se* **parer**, *v r*, to adorn one's self, to dress
**paresse**, *n f*, laziness, idleness
**paresseu-x, -se**, *adj*, lazy, idle, indolent
**parfaire**, *v a*, to perfect, to make up
**parfait, -e**, *adj*, perfect, complete
**parfaitement**, *adv*, perfectly, exactly
**parfois**, *adv*, sometimes, now and then
**parfum**, *n m*, perfume, odor
**parfumer**, *v a*, to perfume, to scent
**parlementer**, *v n*, to parley
**parler**, *v n*, to speak, to converse
**parmi**, *prep*, among, amongst, amid, amidst
**paroi**, *n f*, wall, partition
**parole**, *n f*, word, speech, promise, parole
**parsemer**, *v a*, to strew, to spread
**part**, *n f*, share, part, side
(à part, apart, aside, quelque part, somewhere)
**partage**, *n m*, share, lot, partition, division
**partager**, *v a*, to share, to divide, to parcel, to participate in
**parti**, *n. m*, party, side, cause, resolution, advantage
**partial, -e**, *adj*, partial
**partialement**, *adv*, partially
**partialité**, *n f*, partiality

**participer,** *v. n.*, to partake, to participate
**particulariser,** *v. a.*, to particularize
**particularité,** *n f*, particularity, particular
**particule,** *n f*, particle
**particuli-er, -ère,** *adj.*, particular, peculiar, singular
**particulièrement,** *adv*, particularly, especially
**partie,** *n f.*, part, match, project
**partiel, -le,** *adj.*, partial
**partiellement,** *adv.*, partially
**partir,** *v n.*, to set out, to go away, to depart
**partout,** *adv*, everywhere
**partout où,** wherever
**parure,** *n f*, attire, dress, ornament
**parvenir,** *v n*, to attain, to succeed, to arrive, to come
**pas,** *n m*, step, footstep, progress
**pas,** *adv*, no, not, not any
(presque pas, scarcely any)
**pas du tout,** not at all
**passablement,** *adv*, passably, tolerably
**passage,** *n m*, passage, transition
**passag-er, -ère,** *adj*, passing, transient, fugitive, transitory
**passagèrement,** *adv*, transiently, for a short time
**passe,** *n f*, pass, situation
**passé, -e,** *adj.*, past, gone, over
**passé,** *n m*, past, time past
**passer,** *v. a*, to pass, to be considered, to cross, to exceed
**passer,** *v n*, to pass by, to pass along, to pass away
*se* **passer,** *v r*, to happen, to do without
**passe-temps,** *n. m.*, pastime
**passion,** *n. f*, passion, love
**passionnément,** *adv*, passionately, fondly
**passivement,** *adv.*, passively
**passiveté,** *n f*, passiveness, passivity
**passoire,** *n f*, strainer
**pastille,** *n f.*, lozenge, pill, tablet
**pâte,** *n. f*, paste, dough
**patent, -e,** *adj.*, patent, obvious
**patente, -e,** *adj*, licensed, patented
**pâteu-x, -se,** *adj*, clammy, muddy, pasty
**pathétiquement,** *adv*, pathetically
**patiemment,** *adv*, patiently
**patience,** *n f*, patience, forbearance
**patient, -e,** *adj*, patient, enduring
**patienter,** *v n*, to be patient, to take patience
**patte,** *n f*, foot of a glass, paw of animal
**paupière,** *n f*, eyelid, eyelash
**pause,** *n f*, pause, stop, rest
**pauser,** *v a*, to pause
**pauvre,** *adj*, poor, needy, wretched
**pauvrement,** *adv*, poorly
**pauvreté,** *n f*, poverty
**pavage,** *n m*, pavement, paving
**pavé,** *n m*, paving-stone, pavement
**paver,** *v a*, to pave
**pavot,** *n m*, poppy
(**huile de pavot,** poppy seed oil)
**paye,** *n f*, pay, salary
**payement,** *n m*, payment
**payer,** *v a*, to pay, to pay for
**pays,** *n m*, country, home
**paysage,** *n m*, landscape
**peau,** *n f*, skin, peel
**pêche,** *n f*, peach
**pêche,** *n f*, fishing
**péché,** *n m*, sin
**pécher,** *v n*, to sin
**pêcher,** *v a*, to fish
**peigne,** *n m*, comb
**peigner,** *v. a*, to comb
**peindre,** *v a*, to paint, to describe, to depict

**peine**, *n. f.*, punishment, pain, trouble, affliction
(avoir peine, to have difficulty in)
à peine, hardly, scarcely)
**peiné, -e**, *adj.*, grieved, laboured
**peiner**, *v. n.*, to labor, to toil
**peint, -e**, *adj.*, painted
**peinture**, *n. f.*, painting, paint
**pêle-mêle**, *adv.*, pell-mell, confusedly
**peler**, *v. a.*, to strip off the hair, to peel
**pelle**, *n. f.*, shovel
**penchant**, *n. m.*, slope, inclination, propensity
**penchant, -e**, *adj.*, sloping
**pencher**, *v. a.*, *v. n.*, to incline, to lean, to be inclined
*se* **pencher**, *v. r.*, to stoop, to bend over
**pendant**, *prep.*, during
**pendant que**, *conj.*, while, whilst
**pendant**, *n. m.*, counterpart
**pendant, -e**, *adj.*, hanging
**pendre**, *v. a.*, to hang, to suspend
**pendu, -e**, *adj.*, hung
**pendule**, *n. f.*, clock
**pendule**, *n. m.*, pendulum
**pénétrant, -e**, *adj.*, penetrating, piercing, keen
**pénétrer**, *v. a.*, to penetrate, to enter, to pervade
**pénible**, *adj.*, painful, laborious
**péniblement**, *adv.*, painfully, laboriously
**pénitence**, *n. f.*, penitence, penance
**pénitent, -e**, *adj.*, penitent, repentant
**pensant, -e**, *adj.*, thinking
**pensée**, *n. f.*, thought, idea
**penser**, *v. a.*, to think, to think of
**penseur**, *n. m.*, thinker
**pente**, *n. f.*, slope, inclination
**pépin**, *n. m.*, kernel, stone or seed of fruit
**perçant, -e**, *adj.*, piercing, sharp
**perce-bouchon**, *n. m.*, cork borer
**percé, -e**, *adj.*, pierced, bored
**percer**, *v. a.*, to pierce, to bore, to break through
**percevoir**, *v. a.*, to perceive, to receive, to collect
**perchlorure**, *n. m.*, bichloride, perchloride
**perdant, -e**, *adj.*, loser, losing
**perdre**, *v. a.*, to lose, to waste, to spoil
*se* **perdre**, *v. r.*, to be lost, to lose one's way, to stray, to disappear
**perdu, -e**, *adj.*, lost, ruined
**père**, *n. m.*, father
**péremptoire**, *adj.*, peremptory
**perfectionnement**, *n. m.*, improvement
**perfectionner**, *v. a.*, to improve, to perfect
**perfide**, *adj.*, treacherous, false
**perfidement**, *adv.*, treacherously, basely
**perfidie**, *n. f.*, perfidy, treachery
**perforant, -e**, *adj.*, perforating
**perforer**, *v. a.*, to perforate
**péril**, *n. m.*, peril, danger, risk
**périlleusement**, *adv.*, perilously, dangerously
**périlleu-x, -se**, *adj.*, perilous, dangerous
**période**, *n. f.*, period, revolution
**périodique**, *adj.*, periodic, periodical
**périodiquement**, *adv.*, periodically
**péripétie**, *n. f.*, turn of fortune, event, catastrophe
**périphérie**, *n. f.*, periphery
**périr**, *v. n.*, to perish
**périssable**, *adj.*, perishable
**perle**, *n. f.*, pearl, bead
**perle de borax**, *n. f.*, borax bead
**perlé, -e**, *adj.*, pearled, beady
**perméabilité**, *n. f.*, permeability
**permettre**, *v. a.*, to permit, to allow
*se* **permettre**, *v. r.*, to allow one's self, to indulge

**permis**, -e, *adj.*, lawful
**permis**, *n m*, permit, license
**permuter**, *v. a*, to exchange
**pernicieusement**, *adv.*, perniciously
**pernicieu-x**, -se, *adj*, pernicious, injurious
**perpendiculaire**, *adj*, perpendicular
**perpendiculairement**, *adv.*, perpendicularly
**perpétuel**, -le, *adj*, perpetual
**perpétuellement**, *adv*, perpetually
**perpétuer**, *v. a*, to perpetuate
*se* **perpétuer**, *v r*, to be perpetuated
**perplexe**, *adj*, perplexed, perplexing
**persévérer**, *v n*, to persevere
**persil**, *n m*, parsley
**persistance**, *n f*, persistence, persistency
**persister**, *v n*, to persist
**personne**, *n f*, person
**personne**, *pron m.*, nobody, no one, any one
**personnel**, -le, *adj*, personal
**personnel**, *n m*, staff of an establishment
**persuader**, *v a*, to persuade
*se* **persuader**, *v r*, to convince one's self
**perte**, *n f*, loss, waste
**pertinemment**, *adv*, pertinently
**pesage**, *n m*, weighing
**pesamment**, *adv*, heavily, weightily
**pesant**, -e, *adj*, heavy, weighty
**pesanteur**, *n f*, weight, heaviness
**pesée**, *n f*, weighing
(methode par pesée, gravimetric method)
**peser**, *v a*, *v n*, to weigh, to ponder, to be heavy, to bear upon
**peste**, *n f*, pest, torment, plague
**pétillant**, -e, *adj*, crackling, sparkling
**pétillement**, *n. m*, crackling, sparkling
**pétiller**, *v. n*, to crackle, to sparkle
**petit**, -e, *adj.*, small, little, short
**petitesse**, *n. f*, smallness, meanness
**pétitionner**, *v. a*, to petition
**pétri**, -e, *adj.*, kneaded
**pétrifier**, *v. a*, to petrify
**pétrir**, *v a*, to knead
**pétrole**, *n. m.*, gasoline
**peu**, *adv*, little, few
(à peu près, nearly, about)
**peuplé**, -e, *adj*, peopled, stocked
**peuple**, *n m*, people, nation
**peupler**, *v a*, to people, to populate
**peuplier**, *n m*, poplar
**peur**, *n f.*, fear, fright
**peureu-x**, -se, *adj*, fearful
**peut-être**, *adv*, perhaps, may be
**phénomène**, *n m*, phenomenon
**phosphore**, *n m*, phosphorus
**phosphoreu-x**, -se, *adj*, phosphorous
**phosphorique**, *adj.*, phosphoric
**physique**, *n. f*, physics
**physique**, *adj*, physical
**physiquement**, *adv*, physically
**phtaléine du phénol**, phenolphthalein
**pic**, *n m*, pickaxe
(à pic, perpendicularly)
**picrique**, *adj*, picric
**pièce**, *n f*, piece, apartment
**pied**, *n m*, foot, leg of furniture
**pied de boeuf**, neat's foot
**piège**, *n m*, trap, snare
**pierre**, *n f*, stone, calculus
**piétinement**, *n m*, stamping
**piétiner**, *v a*, to stamp, to crush with the feet
**pieusement**, *adv.*, piously
**pignon**, *n. m.*, pinion
**pile**, *n f*, heap, pile, battery
**pile étalon**, *n f*, normal cell
**pilé**, -e, *adj.*, crushed, ground
**piler**, *v a.*, to pound, to grind
**pilier**, *n. m.*, pillar
**piller**, *v a*, to plunder

**pilon,** *n m.*, pestle
**pilonner,** *v. a.*, to pound
**piloter,** *v a*, to pilot, to guide
**pilule,** *n. f*, pill
**piment,** *n m.*, pimento, capsicum
**pin,** *n. m*, pine tree
**pince,** *n f.*, pliers, tongs, clamp
**pince à ressort,** *n f*, spring clamp
**pince à vis,** *n. f*, screw clamp
**pinceau,** *n m*, brush
**pincée,** *n f*, pinch
**pincer,** *v a*, to pinch, to nip
**piquant, -e,** *adj*, biting, prickly, sharp
**piquer,** *v. a*, to prick, to puncture, to sting, to spur
**piqure,** *n f.*, pricking, sting, puncture
**pire,** *adj.*, *n m*, worse, worst
**pis,** *adj.*, *n. m*, worse, worst
**pissette,** *n f*, wash bottle
**piteusement,** *adv*, piteously, sadly
**pitoyable,** *adj.*, pitiful
**pitoyablement,** *adv*, pitifully
**pittoresque,** *adj*, picturesque
**pivoter,** *v n*, to turn on a pivot
**placage,** *n m*, plating (of metals), veneering (of wood)
**placement,** *n. m*, placing, sale, investment
**placer,** *v a*, to place, to put, to set
**plafond,** *n. m.*, ceiling
**plage,** *n f*, shore
**plaider,** *v a*, to plead, to argue
**plaie,** *n f.*, sore, wound
**plain, -e,** *adj.*, flat, open
**plaindre,** *v a*, to pity
*se* **plaindre,** *v r*, to complain
**plaine,** *n f*, plain
**plainte,** *n f*, complaint
**plaire,** *v n*, to please
*se* **plaire à,** *v. r.*, to take pleasure in
**plaisamment,** *adv*, pleasantly
**plaisant, -e,** *adj*, pleasant
**plaisanter,** *v n*, to joke
**plaisir,** *n m*, pleasure
**plan,** *n m*, plane, plan, design
**plan, -e,** *adj*, plain, level
**planche,** *n. f*, plank, plate
**plancher,** *n m*, floor
**planer,** *v n.*, to hover, to soar
**planer,** *v. a*, to plane, to make smooth
**plantage,** *n m*, planting
**planter,** *v. a*, to plant
**plaque,** *n f*, plate, slab
**plaque chauffante,** hot plate
**plaque en porcelaine,** porcelain plate
**plaque filtrante,** filter plate
**plaque opaline,** milk glass plate
**plaqué, -e,** *adj*, plated
**plat,** *n m*, dish
**plat, -e,** *adj*, flat
**platine,** *n. m*, platinum
**platiné, -e,** *adj*, platinized
**plâtrage,** *n m*, plastering
**plâtre,** *n. m*, plaster
**plâtré, -e,** *adj*, plastered
**plâtrer,** *v a*, to plaster
**plein, -e,** *adj*, full
**pleinement,** *adv*, fully
**pleurer,** *v n.*, to weep
**pleurs,** *n m plur*, tears
**pleuvoir,** *v imp*, to rain
**pli,** *n m*, fold, crease
**pliable,** *adj*, pliable, flexible
**plié, -e,** *adj*, folded
**plier,** *v a*, to fold, to bend
**plier,** *v n*, to yield
**plomb,** *n. m.*, lead, plumb-line, plummet
**plombagine,** *n. f.*, plumbago
**plombé, -e,** *part.*, leaded
**plongé, -e,** *adj*, immersed, dipped
**plongeant, -e,** *adj*, plunging, dipping
**plonger,** *v a.*, to dip, to immerse
**plonger,** *v n*, to dive
**ployer,** *v a.*, to bend
*se* **ployer,** *v r*, to bend, to give way
**pluie,** *n f.*, rain
**plume,** *n. f*, pen, feather

**plupart,** *n. f*, most, most part
**pluriel, -le,** *adj*, plural
**plus,** *adv.*, more, most, moreover
**plusieurs,** *pron. adj.*, several
**plutôt,** *adv*, rather, sooner
**poche,** *n f*, pocket, bag
**poêle,** *n. m*, stove
**poids,** *n m.*, weight
**poignée,** *n f.*, handful
**poil,** *n m*, hair of animals
**poindre,** *v. n*, to dawn, to break
**point,** *adv*, no, not, not at all
**point d'ébullition,** *n m*, boiling point
**point de fusion,** *n m*, melting point
**pointe,** *n f*, point
**pointilleu-x, -se,** *adj*, particular
**pointu, -e,** *adj*, sharp, pointed
**poire,** *n f.*, pear
**pois,** *n m*, pea
**poisson,** *n m*, fish
**poitrine,** *n f*, chest, breast
**poivre,** *n m*, pepper
**poix,** *n f*, pitch
**pôle,** *n m*, pole
**poli, -e,** *adj*, polished, refined
**polir,** *v a*, to polish
**pommade,** *n f*, pomatum, salve
**pomme,** *n f*, apple, ball
**pompe,** *n f*, pump
**pomper,** *v a*, to pump
**ponce,** *n f*, pumice
(pierre ponce, pumice stone)
**ponctué,- e,** *adj*, punctuated, dotted
**ponctuel, -le,** *adj*, punctual
**ponctuer,** *v a*, to punctuate
**pondérale,** *adj.*, by weight, gravimetric
**pont,** *n m*, bridge
**populaire,** *adj*, popular
**populairement,** *adv.*, popularly
**populariser,** *v. a.*, to make popular
**populeu-x, -se,** *adj*, populous
**porc,** *n m.*, hog, pork
**poreu-x, -se,** *adj*, porous
**port,** *n. m*, port, postage
**porte,** *n. f.*, door
**porte-objet,** *n m*, stage (of microscope)
**portée,** *n. f.*, reach of the hand
**porter,** *v. a*, to carry, to wear
**porter,** *v. n*, to bear
*se* **porter,** *v r*, to be (of health) to go
**porteu-r, -se,** *adj*, bearer
**portion,** *n f*, share, part
**pose,** *n f.*, laying, attitude
**poser,** *v. a*, to set
**posséder,** *v. a*, to possess
**possible,** *n m*, utmost
**postérieurement,** *adv*, subsequently
**potable,** *adj.*, drinkable
**potasse,** *n f.*, potash
**poteau,** *n. m.*, post
**potiron,** *n m*, pumpkin
(**huile de potiron,** pumpkin seed oil)
**pouce,** *n m*, thumb, inch
**poudre,** *n f*, dust, powder
**poudreu-x, -se,** *adj*, dusty, powdery
**poulie,** *n f*, pulley
**pouls,** *n. m*, pulse
**poumon,** *n m*, lung
**pour,** *prep*, for, on account of, in order to, towards, to
**pour autant que,** *conj*, insofar as
**pour peu que,** *conj*, ever so little
**pour que,** *conj*, in order that, so that
**pourquoi,** *adv*, *conj.*, why, wherefore
**pourri, -e,** *adj.*, rotten
**pourrir,** *v n*, to rot
**pourriture,** *n f.*, rot, putrefaction
**poursuite,** *n. f.*, pursuit
**poursuivre,** *v a.*, to pursue
*se* **pousuivre,** *v r*, to proceed
**pourtant,** *adv*, however, yet
**pourtour,** *n. m.*, periphery
**pourvoir,** *v n*, to see to, to supply
*se* **pourvoir,** *v r.*, to provide one's self
**pourvu,** *adj*, provided with

**pourvu que,** *conj.*, provided that
**poussée,** *n f*, push, pressure
**pousser,** *v. a.*, to push
**pousser,** *v n.*, to grow
**poussière,** *n f.*, dust
**poussiéreu-x, -se,** *adj.*, dusty
**pouvoir,** *v n*, to be able, can, may
**pouvoir,** *n. m.*, power
**pratique,** *n. f.*, practice
**pratiquement,** *adv.*, practically
**pratiquer,** *v a*, to practice
*se* **pratiquer,** *v. r.*, to be practiced
**préalable,** *adj.*, previous
(au préalable, previously)
**préalablement,** *adv*, previously
**précaire,** *adj.*, precarious
*se* **précautionner,** *v. r*, to guard against
**précédemment,** *adv.*, previously
**précédent, -e,** *adj*, precedent, preceding
**précéder,** *v a*, to precede
**précieusement,** *adv*, preciously
**précieu-x, -se,** *adj.*, precious
**précipitamment,** *adv*, hurriedly
**précipité, -e,** *adj*, precipitated, hasty
**précipité,** *n m*, precipitate
**précipiter,** *v a*, to precipitate
*se* **précipiter,** *v r*, to rush
**précis,** *n m*, summary
**précis, -e,** *adj*, precise, exact
**précisément,** *adv*, precisely
**préciser,** *v a.*, to state precisely
**préconçu, -e,** *adj*, preconceived
**préconiser,** *v a*, to extol, to praise
**prédestiner,** *v. a*, to predestinate
**prédire,** *v a*, to predict
**préférablement,** *adv.*, preferably
**préférer,** *v. a*, to prefer
**préjugé,** *n m*, prejudice, presumption
**préjuger,** *v a*, to prejudge
**prélever,** *v a*, to deduct, to take
**préliminaire,** *n. m*, *adj*, preliminary
**prémédité, -e,** *adj.*, premeditated
**préméditer,** *v. a*, to premeditate
**premi-er, ère,** *adj*, first
**premièrement,** *adv*, first
**prémunir,** *v a.*, to forewarn
*se* **prémunir,** *v r.*, to be provided
**prendre,** *v a*, to take
*se* **prendre,** *v r*, to solidify, to congeal, to take each other
*se* **préoccuper,** *v r*, to be preoccupied with
**préparatif,** *n m.*, preparation
**préparer,** *v a.*, to prepare
*se* **préparer,** *v r*, to get ready
**près,** *prep*, near, by
**présager,** *v a*, to presage, to portend
**prescrire,** *v. a*, to prescribe
**présenter,** *v. a*, to present
*se* **présenter,** *v r*, to appear
**presque,** *adv*, almost
**pressant, -e,** *adj*, pressing
**pressé, -e,** *adj*, in a hurry
**pressentir,** *v a*, to have a presentiment of
**presser,** *v a*, to press, to squeeze
*se* **presser,** *v r*, to be in a hurry, to press
**prestement,** *adv*, quickly
**présure,** *n f.*, rennet
**prêt, -e,** *adj*, ready
**prétendre,** *v a*, to claim
**prétendre,** *v. n.*, to pretend
**prétendu, -e,** *adj*, pretended, sham
**prêter,** *v a*, to lend
*se* **prêter,** *v. r.*, to lend one's self, to favor
**prétexter,** *v. a.*, to pretend
**preuve,** *n f.*, proof
**prévaloir,** *v. n*, to prevail
**prévenir,** *v. a.*, to warn
**prévoir,** *v. a.*, to foresee
**prier,** *v. a.*, to pray
**principe gras,** fatty principle
**principe immédiat,** constituent
**principalement,** *adv.*, chiefly

**printemps,** *n. m.,* spring
**prise,** *n f,* taking
(prise d'essai, sample)
**privé, -e,** *adj,* deprived
**privilégié, -e,** *adj.,* privileged
**prix,** *n m,* price
**probablement,** *adv,* probably
**procédé,** *n m,* process, method
**procédé de contact,** contact process
**procéder,** *v n,* to proceed
**prochain,** *n m,* neighbor
**prochain, -e,** *adj,* near, nearest, next
**prochainement,** *adv,* shortly
**proche,** *adj,* near, next
**proclamer,** *v a,* to proclaim
*se* **procurer,** *v r,* to procure
**prodigieu-x, -se,** *adj,* prodigious
**prodiguer,** *v a,* to lavish
**product-eur, -rice,** *adj,* productive, producing
**producti-f, -ve,** *adj.,* productive
**produire,** *v a,* to produce
**produit,** *n m,* produce, product, yield
**profit,** *n m,* profit
**profiter,** *v. a,* to profit
**profond, -e,** *adj,* deep
**profondément,** *adv,* deep, soundly
**profondeur,** *n f,* depth
**profusément,** *adv,* profusely
**proie,** *n f,* prey
**projet,** *n m,* project, plan
**projeter,** *v. a,* to project, to plan
**prolongement,** *n. m.,* prolongation
**prolonger,** *v a,* to prolong, to lengthen
**promesse,** *n f,* promise
**promptement,** *adv.,* promptly
**prononcer,** *v a,* to pronounce
**propager,** *v a,* to propagate
*se* **propager,** *v r.,* to be propagated, to spread
**propice,** *adj,* favorable
**propos,** *n m.,* discourse, talk
(à propos de, with respect to)
*se* **proposer de,** *v. r.,* to intend
**propre,** *adj,* own, clean, right
**proprement,** *adv,* properly, neatly
**propreté,** *n. f,* cleanliness
**propriété,** *n f,* property
**proscrire,** *v. r,* to proscribe
**prospère,** *adj,* prosperous
**protéger,** *v. a,* to protect
**prouver,** *v. a,* to prove
**provoquer,** *v a,* to provoke, to induce
**prudemment,** *adv.,* prudently
**puant, -e,** *adj,* stinking
**publier,** *v a,* to publish
**publiquement,** *adv.,* publicly
**puer,** *v n,* to stink
**puis,** *adv,* then, afterwards
**puiser,** *v a,* to draw, to imbibe
**puisque,** *conj,* since
**puissamment,** *adv,* powerfully
**puissance,** *n f,* power
**puissant, -e,** *adj,* powerful
**puits,** *n m,* well
**pulluler,** *v n,* to swarm
**pulvériser,** *v a,* to pulverize
**punir,** *v a,* to punish
**pur, -e,** *adj,* pure
**purement,** *adv,* purely
**pureté,** *n f,* purity
**purifier,** *v a,* to purify
**purin,** *n m,* liquid manure
**pyridique,** *adj,* of pyridine series

## Q

**quadrillé, -e,** *adj,* checkered, ruled in squares
**quadroxalate,** *n m.,* tetroxalate
**qualifiable,** *adj,* that can be called
**qualifié, -e,** *adj,* qualified
**qualifier,** *v a.,* to qualify
**quand,** *adv,* when
(depuis quand, since when)
**quand,** *conj,* though, although
(quand même, even if)

quant à, *adv*, as to, respecting
quantité, *n. f.*, quantity
quarantaine, *n f*, about forty
quarante, *n m*, *adj*, forty
quarantième, *adj.*, fortieth
quart, *n. m*, quarter, fourth
quartier, *n m*, quarter, fourth part
quatorze, *adj*, fourteen
quatorzième, *adj*, fourteenth
quatre, *adj*, four
quatre-vingtième, *adj*, eightieth
quatre-vingts, *adj*, eighty
quatrième, *adj*, fourth
que, *rel pron*, whom, that, which, what
que, *conj*, that, how, as, when
quel, -le, *adj*, what
quelconque, *adj*, whatever, any
quelque, *adj*, some, any, whatever
quelque, *adv*, however
quelquefois, *adv*, sometimes
quelques-uns, -unes, *n m plur*, some people, some
quelqu'un, *n m*, some one
querelle, *n f*, quarrel
quereller, *v a*, to quarrel with
questionnaire, *n m*, examination questions, quiz
questionner, *v a*, to question
quête, *n. f*, quest, collection
queue, *n f*, tail
qui, *rel pron.*, who, whoever, whom
quiconque, *pron*, whoever, whomsoever
quinoleique, *adj*, of quinoline series
quinzaine, *n f*, about fifteen
quinze, *adj*, fifteen
quinzième, *adj*, fifteenth
quittance, *n. f.*, receipt
quitte, *adj*, discharged, quit
quitter *v a*, to quit, to leave
quoi, *pron*, which, what
quoique, *conj.*, although
quotidien, -ne, *adj.*, daily

R

rabais, *n. m.*, reduction, diminution
rabaisser, *v. a.*, to lower, to abate
rabattre, *v a.*, to bring down
rabougri, -e, *adj.*, stunted
rabougrir, *v. n.*, to be stunted
racommodage, *n m*, mending
raccommodement, *n m*, reconciliation
raccommoder, *v a.*, to mend
raccourci, -e, *adj*, shortened
raccourcir, *v a*, to shorten
raccourcissement, *n m*, shortening
raccrocher, *v. a*, to hook again
race, *n. f*, race, breed
racheter, *v a*, to buy back
racine, *n f*, root
râcler, *v a*, to scrape
râclure, *n f*, scrapings
raconter, *v a.*, to relate
radicalement, *adv*, radically
radié, -e, *adj*, radiated
radoucir, *v a*, to soften
raffermir, *v a*, to harden, to strengthen
*se* raffermir, *v r*, to grow stronger
raffinage, *n m*, refining
raffiné, -e, *adj*, refined, purified
raffiner, *v a*, to refine
raffinerie, *n f*, refinery, sugar refinery
rafraîchir, *v a*, to cool, to refresh
rafraîchissant, -e, *adj*, refreshing, cooling
raide, *adj*, stiff
raideur, *n f*, stiffness
raidir, *v. a*, *v. n.*, to stiffen
raie, *n f.*, line, ray
rainure, *n f.*, groove
raisin, *n. m*, grapes
raison, *n. f.*, reason
(à raison de, at the rate of)
(en raison de, by reason of)
raisonnable, *adj.*, rational, reasonable
raisonnablement, *adv.*, reasonably

**raisonnement,** *n m*, reasoning
**raisonner,** *v. n*, to reason
**rajuster,** *v a.*, to readjust
**ralentir,** *v a*, *v. n*, to slacken
**ralliement,** *n. m*, rallying
**rallier,** *v a*, to rally
**rallonge,** *n. f.*, extension piece
**rallonger,** *v a*, to make longer
**rallumer,** *v. a*, to rekindle
**ramasser,** *v a*, to gather, to pick up
**rame,** *n. f.*, oar, ream of paper
**ramener,** *v a*, to bring back
*se* **ramifier,** *v r*, to branch out
**ramollir,** *v a*, *v n*, to soften
**ramollissement,** *n m*, softening
**rampant, -e,** *adj*, creeping
**rampe,** *n f*, rail, stairs, baluster
**ramper,** *v n*, to creep
**rance,** *adj*, rancid
**rancir,** *v n*, to grow rancid
**rang,** *n m*, row, rank, order
**rangé, -e,** *adj*, steady, arranged in rows
**rangée,** *n f*, row
**ranger,** *v a*, to arrange, to set in order
*se* **ranger,** *v r*, to step aside
**ranimer,** *v a*, to restore
**râper,** *v a*, to rasp, to grate
**rapetisser,** *v a*, to belittle, to make smaller
**rapide,** *adj*, rapid, swift
**rapidement,** *adv*, swiftly
**rappeler,** *v a*, to recall
*se* **rappeler,** *v r*, to recollect
**rapport,** *n m*, relation, ratio
(par rapport à, with reference to)
**rapporter,** *v. a*, to bring back
*se* **rapporter à,** *v r*, to refer to
**rapprochement,** *n m.*, bringing together, comparison
**rapprocher,** *v a.*, to bring together
*se* **rapprocher,** *v. r*, to draw near
**râpure,** *n. f.*, rasping
**rare,** *adj*, rare, unusual
**raréfier,** *v a*, to rarefy
**rarement,** *adv.*, seldom
**rareté,** *n f*, scarcity
**ras, -e,** *adj*, close, short-haired
**raser,** *v. a*, to shave, to pull down
**rasoir,** *n m*, razor
**rassasier,** *v a*, to satiate
**rassemblement,** *n m*, assembling
**rassembler,** *v. a*, to assemble
*se* **rassembler,** *v. r*, to assemble
**rassurant, -e,** *adj*, reassuring
**rassurer,** *v a*, to reassure
**ratatiné, -e,** *adj*, shriveled
**rate,** *n f*, spleen
**râteau,** *n m*, rake
**râteler,** *v a*, to rake
**râtelier,** *n m*, rack
**rationnel, -le,** *adj*, rational
**rationner,** *v a*, to put on rations
**rattacher,** *v a*, to fasten, to attach
*se* **rattacher,** *v r*, to be fastened, to resemble
**rattraper,** *v a*, to overtake
**rature,** *n f*, erasure
**raturer,** *v a*, to erase
**rauque,** *adj*, hoarse
**ravager,** *v a*, to spoil
**ravir,** *v a*, to carry off, to delight
*se* **raviser,** *v r*, to change one's mind
**ravissant, -e,** *adj*, delightful
**raviver,** *v a*, to revive
**rayé, -e,** *adj*, streaked, crossed out
**rayer,** *v. a*, to scratch, to cross out
**rayon,** *n m*, ray, beam, radius, shelf
**rayonnant, -e,** *adj*, radiant, shining
**rayonner,** *v n*, to radiate, to shine
**rayure,** *n. f*, stripe, scratch
**réacti-f, -ve,** *adj.*, reactive
**réactif,** *n. m*, reagent
**réactionnel, -le,** *adj.*, reacting
**réagir,** *v a.*, to react
**réalisable,** *adj.*, that can be made real
**réaliser,** *v. a.*, to realize

**réalité,** *n f*, reality
**rebâtir,** *v a*, to rebuild
**rebondi, -e,** *adj.*, plump, round
**rebord,** *n m.*, brim, ledge
**reboucher,** *v a.*, to stop up again, to cork again
**rebours,** *n m*, wrong side, reverse
**rebuter,** *v a*, to repulse, to reject
**récalcitrant, -e,** *adj.*, stubborn
**récapituler,** *v a*, to sum up
**recèlement,** *n. m*, concealing
**recéler,** *v a*, to conceal
**récemment,** *adv*, recently
**recensement,** *n m*, census
**récent, -e,** *adj*, recent
**recette,** *n f.*, receipt
**recevoir,** *v. a.*, to receive
**rechargement,** *n m.*, reloading, recharging
**recharger,** *v a*, to recharge
**réchauffage,** *n m*, warming up
**réchauffer,** *v a.*, to warm up
**recherche,** *n. f*, research, search
**recherché, -e,** *adj*, choice, in great demand
**rechercher,** *v a*, to seek, to investigate
**récipé,** *n m*, recipe
**réciproque,** *adj*, reciprocal
**réciproquement,** *adv.*, reciprocally
**récit,** *n m*, recital, narration
**réciter,** *v a*, to recite
**réclame,** *n f.*, advertising
**réclamer,** *v. a.*, to claim back
**recoin,** *n m*, corner
**récolte,** *n f*, harvest
**récolter,** *v. a*, to reap
**recommandable,** *adj*, recommendable
**recommander,** *v a*, to recommend
**recommencer,** *v. a*, to begin again
**récompenser,** *v a*, to reward
**recompenser,** *v a*, to reward
**reconcilier,** *v. a.*, to reconcile
*se* **reconcilier** *v r*, to be reconciled
**reconnaissance,** *n f*, gratitude
**reconnaissant, -e,** *adj.*, grateful
**reconnaître,** *v. a*, to recognize
**recours,** *n. m.*, recourse
**recouvrement,** *n. m*, recovery
**recouvrer,** *v a.*, to recover
**recouvrir,** *v. a.*, to cover again
**rectangulaire,** *adj*, rectangular
**rectificateur,** *n m*, rectifier
**rectifier,** *v. a*, to rectify
**reçu,** *n m*, receipt
**recueilli, -e,** *part*, collected, gathered
**recueillir,** *v a.*, to gather
*se* **recueillir,** *v r*, to collect one's thoughts
**recuite,** *n. f*, annealing of metals or glass, reheating of liquids
**recul,** *n m*, recoil
**reculé, -e,** *part*, distant
**reculer,** *v a*, to defer
*se* **reculer,** *v r*, to draw back
**recupérer,** *v a*, to recover
**rédacteur,** *n m.*, editor
**rédaction,** *n f*, editing
**rédiger,** *v a*, to edit
**redire,** *v a.*, to repeat
**redistribuer,** *v a*, to distribute again
**redoublé, -e,** *adj*, redoubled
**redoubler,** *v. a*, to redouble, to increase
**redouter,** *v a*, to dread
**redresser,** *v a.*, to straighten
**réducteur,** *n. m*, reductor
**réduire,** *v a*, to reduce
**réel, -le,** *adj.*, real
**réellement,** *adv.*, really
**référer,** *v. a.*, to refer
**réfléchi, -e,** *adj.*, reflected, deliberate
**réfléchir,** *v. a.*, to reflect
**réflecteur,** *n. m.*, reflector
**reflet,** *n. m.*, reflection, reflex
**refléter,** *v. a.*, to reflect light
**refondre,** *v. a.*, to melt again, to recast

**refonte,** *n. f*, recasting
**réformer,** *v a.*, to reform, to mend
**reformer,** *v a*, to form again
**refoulement,** *n. m.*, driving back
**refouler,** *v a*, to drive back
**réfractaire,** *adj.*, refractory
**réfrigérant,** *n m*, condenser
**réfrigérant à air,** air condenser
**réfrigérant ascendant,** reflux condenser
**réfrigérant descendant,** inclined condenser
**réfrigérant, -e,** *adj*, freezing
**réfringent, -e,** *adj*, refracting
**refroidir,** *v a*, to cool
**refroidissement,** *n m*, cooling
**refus,** *n m*, refusal
**refuser,** *v a*, to refuse
**regagner,** *v a*, to regain, to recover
**régal, -e,** *adj*, royal
(eau régale, aqua regia)
**regard,** *n m.*, look, glance
**regarder,** *v a*, to look at
**régénérer,** *v a*, to regenerate
**régir,** *v a*, to govern
**règle,** *n f*, rule, ruler
**réglage,** *n m*, regulation, control
**réglé, -e,** *adj*, ruled, regulated
**règlement,** *n m*, regulation
**réglementaire,** *adj.*, regulatory
**réglementer,** *v a*, to regulate, to make regulations
**régler,** *v a*, to rule, to decide
**réglure,** *n f*, ruling of paper
**régnant, -e,** *adj.*, reigning, prevailing
**règne,** *n m.*, reign, kingdom
**régner,** *v. a.*, to rule
**regorgement,** *n. m*, overflowing
**regorger,** *v. n*, to overflow
**regretter,** *v. a*, to regret
**régulariser,** *v. a*, to regulate
**régulateur de chaleur,** *n m.*, thermoregulator
**régulat-eur, -rice,** *adj*, regulating
**réguli-er, -ère,** *adj*, regular
**régulièrement,** *adv*, regularly
**rehaussé, -e,** *adj*, heightened, set off
**rein,** *n m*, kidney
**rejaillir,** *v. n*, to spurt out
**rejaillissement,** *n m*, spouting
**rejet,** *n. m.*, rejection
**rejetable,** *adj*, rejectable
**rejeter,** *v. a*, to reject
**rejoindre,** *v a*, to rejoin, to overtake
**réjouir,** *v a*, to rejoice
*se* **réjouir,** *v. r.*, to rejoice
**relâche,** *n m*, discontinuance
**relâchement,** *n m*, slackening, abatement
**relâcher,** *v a.*, to slacken, to yield, to give up
**relais,** *n m*, relay
**relayer,** *v a*, to relieve any one
**reléguer,** *v a*, to relegate
**relève,** *n m*, abstract, statement
**relèvement,** *n m*, account, rising
**relever,** *v a*, to raise again, to set off
**relier,** *v a*, to bind
**relire,** *v a*, to read over
**reluire,** *v n*, to shine
**reluisant, -e,** *adj*, shining
**remarquable,** *adj*, remarkable
**remarque,** *n f*, notice
**remarquer,** *v a.*, to mark again, to observe
**rembourrer,** *v a*, to stuff
*se* **rembrunir,** *v r*, to get darker
**remède,** *n m.*, remedy
**remédier,** *v a.*, to remedy
**remercier,** *v a.*, to thank
**remettre,** *v a*, to put again, to put on again, to put off
*se* **remettre,** *v. r.*, to resume, to compose one's self
**remise,** *n f.*, delivery, delay
**remonter,** *v a*, *v n*, to go up again, to set up again, to wind a clock

**remplacement,** *n. m.,* replacing
**remplacer,** *v. a.,* to replace, to take the place of
*se* **remplacer,** *v. r.,* to be replaced
**rempli, -e,** *adj.,* full
**remplir,** *v. a.,* to refill
*se* **remplir,** *v. r.,* to become full
**remporter,** *v. a.,* to carry away
**remuant, -e,** *adj.,* stirring, turbulent
**remuer,** *v. a.,* to stir
**rencontre,** *n. f.,* encounter, meeting
**rencontrer,** *v. a.,* to meet
*se* **rencontrer,** *v. r.,* to meet
**rendement,** *n. m.,* yield
**rendre,** *v. a.,* to return, to yield
*se* **rendre,** *v. r.,* to go, to proceed, to yield
**renfermer,** *v. a.,* to shut up, to include
**renflé, -e,** *adj.,* swollen, inflated
**renflement,** *n. m.,* swelling, enlargement
**renforcé, -e,** *adj.,* strong, substantial
**renforcement,** *n. m.,* strengthening
**renforcer,** *v. a.,* to strengthen
*se* **renforcer,** *v. r.,* to become stronger, or more pronounced
**renier,** *v. a.,* to deny
**reniflard,** *n. m.,* valve to let in air
**renom,** *n. m.,* renown
**renommé, -e,** *adj.,* renowned
**renommée,** *n. f.,* fame
**renommer,** *v. a.,* to re-elect, to make famous
**renoncement,** *n. m.,* renouncing
**renoncer,** *v. a.,* to renounce, to waive
**renouveler,** *v. a.,* to renew
**renouvellement,** *n. m.,* renewal
**renseignement,** *n. m.,* information
**renseigner,** *v. a.,* to inform
**rentier,** *n. m.,* man with independent income
**rentrant, -e,** *adj.,* re-entering
**rentrée,** *n. f.,* re-opening, re-entrance
**rentrer,** *v. a., v. n.,* to return, to bring in
**renversé, -e,** *adj.,* thrown down, inverted
**renversement,** *n. m.,* reversing
**renverser,** *v. a.,* to reverse, to turn upside down
*se* **renverser,** *v. r.,* to upset
**renvoi,** *n. m.,* sending back, return
**renvoyer,** *v. a.,* to send again, to send back
**répandre,** *v. a.,* to spill, to diffuse
**répandre,** *v. n.,* to propagate
*se* **répandre,** *v. r.,* to be spilt, to be distributed
**répandu, -e,** *adj.,* spilt, scattered
**réparation,** *n. f.,* repairing
**réparer,** *v. a.,* to repair
**repas,** *n. m.,* meal
**repasser,** *v. a.,* to pass again, to iron, to look over
*se* **repentir,** *v. r.,* to repent
**repère,** *n. m.,* (**point de repère,** reference point, guiding point)
**répéter,** *v. a.,* to repeat
**répit,** *n. m.,* respite
**replacement,** *n. m.,* replacing
**replacer,** *v. a.,* to replace
**repli,** *n. m.,* fold, crease
**replier,** *v. a.,* to fold again
*se* **replier,** *v. r.,* to fold one's self, to fall back
**réplique,** *n. f.,* reply
**replonger,** *v. a.,* to dip again
**répondre,** *v. a.,* to answer, to respond
**réponse,** *n. f.,* answer
**reporter,** *v. a.,* to carry back, to carry forward
**repos,** *n. m.,* rest
**reposer,** *v. a.,* to rest, to place again
*se* **reposer,** *v. r.,* to rest
**repoussant, -e,** *adj.,* repulsive
**repousser,** *v. a.,* to repel, to drive back

reprendre, *v a*, to take again, to take up, *v n.*, to start again
représentant, *n. m.*, representative
représenter, *v. a.*, to represent
*se* représenter, *v r.*, to fancy, to present itself again
réprimant, -e, *adj*, repressive
réprimer, *v a*, to repress
repris, -e, *part*, taken up again
reprise, *n f*, resumption, recovery (à plusieurs reprises, several times)
reprocher, *v a*, to reproach
reproduct-eur, -rice, *adj*, reproductive
reproducti-f, -ve, *adj*, reproductive
reproduire, *v a*, to reproduce
*se* reproduire, *v r*, to be reproduced, to occur again
répudier, *v a*, to repudiate
répugner, *v n*, to be repugnant
requérir, *v a*, to request, to summon
requête, *n f*, request
requis, -e, *part*, requested, requisite
réseau, *n m*, net, net-work
réserve, -e, *adj*, reserved, cautious
réserver, *v a*, to reserve
résidu, *n m*, settlement, residue
résiduaire, *adj*, residual, remaining
résine, *n f*, resin, rosin, colophany
résineu-x, -se, *adj*, resinous
résistant, *adj*, tough, unyielding
résister, *v a.*, to resist, to oppose
résolu, -e, *part.*, decided on, settled
résolu, -e, *adj.*, resolute, determined
résolument, *adv*, resolutely
résonner, *v. n.*, to resound
résorber, *v a*, to reabsorb
résorption, *n. f.*, reabsorption
résoudre, *v a*, to resolve, to solve
*se* résoudre, *v. r*, to resolve
respecti-f, -ve, *adj.*, respective
respectivement, *adv*, respectively
respirer, *v a.*, to breathe
resplendissant, -e, *adj.*, resplendent
ressaisir, *v a*, to seize again
ressemblance, *n. f.*, resemblance
ressemblant, -e, *adj.*, resembling
ressembler, *v. a.*, to resemble
ressentir, *v. a*, to feel
resserrer, *v. a*, to bind together
ressort, *n m*, spring, means
ressortir, *v n*, to be set off
ressource, *n. f*, resource
restant, -e, *adj*, remaining
restant, *n. m*, remainder
restaurer, *v a*, to restore
reste, *n m*, rest, remainder, residue
rester, *v n*, to remain
restituer, *v a*, to restore
restreindre, *v a*, to restrict, to limit
résultant, -e, *adj*, resulting
résulter, *v n*, to result, to be the consequence
résumé, *n m*, summary
résumer, *v a*, to sum up
rétablir, *v a*, to restore
rétablissement, *n m*, reestablishment
retard, *n m*, delay
retarder, *v a*, to delay, to set back
retenir, *v a*, to retain, to restrain, to remember
retentir, *v n*, to resound
retentissant, -e, *adj*, resounding
réticence, *n f*, reserve
rétine, *n f*, retina
retirer, *v a*, to withdraw
*se* retirer, *v r*, to withdraw
retomber, *v n.*, to fall down again, to relapse
retour, *n m*, return
retourner, *v a.*, *v. n*, to go back, to turn up
*se* retourner, *v. r.*, to turn around
retracer, *v. a.*, to retrace
retrait, *n. m*, withdrawal
retraite, *n f*, pension
retranchement, *n m.*, retrenchment, curtailment

**retrancher,** *v. a.*, to retrench, to curtail, to subtract
**rétréci, -e,** *adj.*, narrow, shrunk
**rétrécir,** *v. a.*, to contract, to shrink
*se* **rétrécir,** *v. r.*, to contract, to shrink
**rétrécissement,** *n. m.*, contraction, shrinking
**retremper,** *v. a.*, to temper again
**retrouver,** *v. a.*, to find again
**réunir,** *v. a.*, to reunite, to unite, to collect
*se* **réunir,** *v. r.*, to unite, to gather
**réussite,** *n. f.*, success
**revanche,** *n. f.*, revenge
**rêve,** *n. m.*, dream
**réveil,** *n. m.*, waking
**réveiller,** *v. a.*, to awake, to wake
*se* **réveiller,** *v. r.*, to awake, to wake
**révélat-eur, -rice,** *n.*, detector
**révéler,** *v. a.*, to reveal, to detect
**revenir,** *v. n.*, to come again, to come back
**rêver,** *v. a.*, *v. n.*, to dream, to long for
**réverbère,** *n. m.*, reflector, street lamp
**revers,** *n. m.*, back, reverse
**revêtement,** *n. m.*, cover
**revêtir,** *v. a.*, to clothe, to put on, to assume, to cover
**revient,** *n. m.*, (**prix de revient,** cost price)
**revivifier,** *v. a.*, to revive, to revivify
**revoir,** *v. a.*, to see again, to revise
**revue,** *n. f.*, review, magazine
**rhomboèdre,** *n. m.*, rhombohedron
**rhum,** *n. m.*, rum
**rhume,** *n. m.*, cold
**riant, -e,** *adj.*, smiling, cheerful
**richement,** *adv.*, richly
**richesse,** *n. f.*, riches, wealth
**ricin,** *n. m.*, ricinus communis
(huile de ricin, castor oil)
**ride,** *n. m.*, wrinkle
**ridé, -e,** *adj.*, wrinkled
**rideau,** *n. m.*, curtain, screen
**rider,** *v. a.*, to wrinkle
**ridicule,** *adj.*, ridiculous
**rien,** *n. m.*, nothing, trifle
**rien,** *adv.*, nothing
**rigide,** *adj.*, rigid, severe
**rigidement,** *adv.*, rigidly, strictly
**rigole,** *n. f.*, trench, little furrow, trough
**rigoureu-x, -se,** *adj.*, rigorous, severe
**rigueur,** *n. f.*, rigor, severity
**rincer,** *v. a.*, to rinse
**rire,** *v. a.*, to laugh
**risque,** *n. m.*, risk
**risquer,** *v. a.*, to risk
**rivage,** *n. m.*, shore
**rivaliser,** *v. a.*, to rival, to compete
**rivalité,** *n. f.*, rivalry
**rive,** *n. f.*, shore, bank of a river
**river,** *v. a.*, to rivet
**rivière,** *n. f.*, river
**riz,** *n. m.*, rice
(**huile de riz,** rice oil)
**robe,** *n. f.*, gown, coat of animals
**robinet,** *n. m.*, facet, stopcock
**robinet de purge,** blow valve
**robinet de vidange,** discharge valve
**roche,** *n. f.*, rock
**rocher,** *n. m.*, rock
**rodé, -e,** *adj.*, ground to fit
**roder,** *v. a.*, to grind
**rogner,** *v. a.*, to clip
**rôle,** *n. m.*, roll, part
**roman,** *n. m.*, novel
**rompre,** *v. a.*, *v. n.*, to break, to snap off
**rompu, -e,** *adj.*, *part.*, broken, snapped
**rond, -e,** *adj.*, round
**rond,** *n. m.*, circle, ring
**rondelle,** *n. f.*, ring, washer
**rondeur,** *n. f.*, roundness, curve
**ronflement,** *n. m.*, roaring, rumbling
**ronger,** *v. a.*, to gnaw, to corrode
**rongeur,** *adj.*, gnawing, corroding

**rose,** *adj.*, rosy, pink
**rosé, -e,** *adj*, rosy
**roseau,** *n m*, reed
**rotateur,** *adj.*, rotatory
**rôtir,** *v a.*, to roast
**roue,** *n f*, wheel
**roue dentée,** *n f*, cog wheel
**rouge,** *adj*, red
**rougeâtre,** *adj.*, reddish
**rougeur,** *n f.*, redness, glow
**rougir,** *v a, v n.*, to redden, to blush
**rouille,** *n f*, rust
**rouillé, -e,** *adj*, rusty
**rouiller,** *v. a*, to rust
*se* **rouiller,** *v r*, to rust, to get rusted
**rouir,** *v a*, to steep, to ret
**rouissage,** *n. m.*, retting
**roulage,** *n m*, rolling
**rouleau,** *n. m*, roll, roller
**rouler,** *v a*, to roll, to coil
**roulette,** *n f*, small wheel
**route,** *n. f*, road, course
**rou-x, -sse,** *adj*, reddish, russet
**ruban,** *n m*, ribbon
**ruche,** *n. f*, hive
**rude,** *adj.*, harsh, uneven, severe
**rudement,** *adv*, roughly, severely
**rudesse,** *n f*, harshness, severity
**rue,** *n f*, street
**ruer,** *v a.*, to fling, to hurl
**rugueu-x, -se,** *adj*, wrinkled, rough
**ruine,** *n f*, ruin, decay
**ruineu-x, -se,** *adj*, ruinous
**ruisseau,** *n m*, stream, rivulet
**ruisselant, -e,** *adj*, streaming, running
**ruisseler,** *v n*, to stream, to trickle
**rupture,** *n f*, rupture, breaking
**ruse,** *n f.*, artifice, trick
**rutilant, -e,** *adj*, rutilant

## S

**s',** contraction for se
**sa,** *adj f*, his, her, one's, its
**sable,** *n. m*, sand
**sablonneu-x, -se,** *adj*, sandy
**sac,** *n m*, sack, bag
**saccade,** *n. f.*, jerk
**saccadé, -e,** *adj*, jerky
**sacchareu-x, -se,** *adj*, saccharine
**sacrifier,** *v. a.*, to sacrifice
**sage,** *adj*, wise
**sagement,** *adv*, wisely
**sagesse,** *n f*, wisdom
**saigner,** *v. a.*, to bleed
**saillant, -e,** *adj*, projecting
**saillir,** *v n*, to project
**sain, -e,** *adj*, soundly
**saindoux,** *n m.*, lard
**sainement,** *adv*, soundly
**saisir,** *v a.*, to seize
**saisissable,** *adj*, seizable, attachable
**saisissant, -e,** *adj*, striking, startling
**saison,** *n f*, season
**salaire,** *n m*, salary
**sale,** *adj*, dirty, soiled
**salé, -e,** *adj*, salted
**salement,** *adv*, dirtily
**saler,** *v a*, to salt
**saleté,** *n f*, dirt
**salin, -e,** *adj*, saline, salt
**salir,** *v a*, to soil
**saliver,** *v n*, to salivate
**salle,** *n f*, hall, room
**salpêtrière,** *n f*, salpetre-works
**salubre,** *adj*, salubrious
**saluer,** *v a*, to salute, to greet
**sang,** *n m*, blood
**sanglant,** *adj*, bloody, bleeding
**sangle,** *n. f*, strap
**sangler,** *v a*, to strap
**sans,** *prep*, without, but for
**sans que,** *prep.*, without
**santé,** *n. f*, health
**saper,** *v a.*, to sap, to undermine
**sapin,** *n m*, fir tree
**saponifier,** *v. a*, to saponify
**sarrasin,** *n m*, buckwheat
**satisfaire,** *v. a.*, to satisfy

**satisfaisant, -e,** *adj.*, satisfactory
**satisfait, -e,** *adj.*, satisfied
**saturé, -e,** *adj*, saturated
(non saturé, unsaturated)
**saturer,** *v. a.*, to saturate
**sau-f, -ve,** *adj.*, safe
**sauf,** *prep*, save, except
**saut,** *n m.*, jump, spring
**sauter,** *v a.*, to jump
**sauvage,** *adj.*, savage, wild
**sauvegarder,** *v. a*, to guard
**sauver,** *v a*, to save
*se* **sauver,** *v r*, to escape
**savant, -e,** *adj*, learned
**savant,** *n. m.*, scholar
**saveur,** *n f*, savour
**savoir,** *v a*, to know, to know how
**savon,** *n m*, soap
**savonnage,** *n m*, soaping
**savonner,** *v. a*, to soap
**savourer,** *v. a.*, to relish
**sceau,** *n m*, seal
**sceller,** *v a*, to seal, to cement
**scie,** *n. f*, saw
**scier,** *v. a.*, to saw
*se* **scinder,** *v r*, to break down, to split up
**sciure de bois,** *n. f.*, sawdust
**scrupuleusement,** *adv.*, scrupulously
**se,** *pron.*, one's self, himself, herself, itself, one another
**seau,** *n. m*, bucket
**sec,** *m*, **sèche,** *f. adj*, dry
**sécher,** *v a*, to dry, to wither
**sécheresse,** *n f*, dryness
**second, -e,** *adj*, second
**secondaire,** *adj.*, secondary
**secondairement,** *adv*, secondarily
**seconde,** *n. f*, second
**secondement,** *adv*, secondly
**seconder,** *v a*, to second, to assist
**secouer,** *v. a.*, to help
**secours,** *n. m.*, help
**secousse,** *n. f*, shock, jerk
**secr-et, -ète,** *adj*, secret
**secret,** *n m*, secrecy, secret
**sectionner,** *v a*, to divide into sections
**séduire,** *v a*, to seduce
**séduisant, -e,** *adj*, seductive
**seigle,** *n m.*, rye
**sein,** *n m*, breast, bosom, midst
**seize,** *n m*, *adj*, sixteen
**seizième,** *adj*, sixteenth
**séjour,** *n m*, stay, standing
**séjourner,** *v n*, to stay, to make a stay
**sel,** *n m.*, salt
**selon,** *prep*, according to
**selon que,** *conj*, as, according to
**semailles,** *n f plur.*, sowing, seed
**semaine,** *n f*, week
**semblable,** *adj*, alike, similar
**semblablement,** *adv*, likewise
**semblant,** *n m*, semblance, appearance
**sembler,** *v n*, to seem
**semé, -e,** *part*, sowed, sown
**semelle,** *n f*, sole of shoes
**semence,** *n f*, seeds
**semer,** *v. a*, to sow, to scatter
**sens,** *n m*, sense, meaning, direction
**sensé, -e,** *adj*, sensible, intelligent
**sensible,** *adj*, sensible, sensitive
**sensiblement,** *adv*, sensibly, perceptibly
**sentir,** *v a*, to feel, to smell
*se* **sentir,** *v r*, to feel
**séparer,** *v a*, to separate
*se* **séparer,** *v r*, to separate
**sept,** *adj.*, seven
**septième,** *adj*, seventh
**sérieusement,** *adv*, seriously
**sérieu-x, -se,** *adj*, serious, earnest
**serment,** *n m*, oath
**serpentin,** *n m.*, worm, coil
**serre,** *n f.*, green-house
**serré, -e,** *part.*, close, crowded

**serrement,** *n. m.*, pressing
**serrer,** *v. a.*, to press, to tighten
*se* **serrer,** *v. r.*, to crowd, to lie close
**serrure,** *n. f.*, lock
**sertir,** *v. a.*, to set (a stone), to encase, to frame
**service,** *n. m.*, service, duty
**servir,** *v. a.*, to serve, to be of use, to be used as
*se* **servir de,** *v. r.*, to use, to make use of
**serviteur,** *n. m.*, servant
**ses,** *adj. plur.*, his, her, its, one's
**seuil,** *n. m.*, threshold
**seul, -e,** *adj.*, alone, only
**seulement,** *adv.*, only
**sève,** *n. f.*, sap
**sévère,** *adj.*, severe, strict
**sévèrement,** *adv.*, severely, strictly
**si,** *conj.*, if, whether
**si,** *adv.*, so, so much, however, yes
**siccati-f, -ve,** *adj.*, drying
(huile siccative, drying oil)
**siècle,** *n. m.*, century
**siège,** *n. m.*, seat
**siéger,** *v. n.*, to sit, to lie
**sien, -ne,** *adj.*, his, hers, its
**siffler,** *v. n.*, to whistle
**signalement,** *n. m.*, description of a man
**signaler,** *v. a.*, to give the description of, to give a signal
**signe,** *n. m.*, sign, mark
**signer,** *v. a.*, to sign
**signifiant, -e,** *adj.*, significant
**signifier,** *v. a.*, to mean, to notify
**silencieusement,** *adv.*, silently
**silencieu-x, -se,** *adj.*, silently
**silicaté, -e,** *adj.*, silicate
(matières silicatées, silicates)
**silice,** *n. f.*, silica
**silicieu-x,** *-se,* silicious
**sillon,** *n. m.*, furrow
**similaire,** *adj.*, similar
**simple,** *adj.*, simple, single
**simplement,** *adv.*, simply
**simulacre,** *n. m.*, feint, appearance
**simulé, -e,** *adj.*, fictitious, false
**simuler,** *v. a.*, to feign
**simultané, -e,** *adj.*, simultaneous
**simultanément,** *adv.*, simultaneously
**sincèrement,** *adv.*, sincerely
**singuli-er, -ère,** *adj.*, singular, peculiar
**sinon,** *conj.*, otherwise, except
**sirupeu-x, -se,** *adj.*, syrupy
**sitôt,** *adv.*, so soon, as soon
**sitôt que,** *conj.*, as soon as
**situé, -e,** *adj.*, situated
**situer,** *v. a.*, to place
**sixième,** *adj.*, sixth
**sobrement,** *adv.*, soberly
**société,** *n. f.*, society
**sœur,** *n. f.*, sister
**soi,** *pron.*, one's self, self, itself
**soi-disant,** *adj.*, would-be
**soie,** *n. f.*, silk
**soif,** *n. f.*, thirst
**soigner,** *v. a.*, to care for, to take care of
**soigneusement,** *adv.*, carefully
**soigneu-x, -se,** *adj.*, careful
**soi-même,** *pron.*, one's self, itself
**soja,** *n. m.*, soja or soya
(**huile de soja,** soya bean oil)
**soin,** *n. m.*, care
**soirée,** *n. f.*, evening
**soit,** *adv.*, be it so
**soit,** *conj.*, either, whether, or
**soixantaine,** *n. f.*, about sixty
**soixante,** *adj.*, sixty
**soixantième,** *adj.*, sixtieth
**sol,** *n. m.*, soil, ground
**solaire,** *adj.*, solar
**soleil,** *n. m.*, sun
**solennel, -le,** *adj.*, solemn
**solidement,** *adv.*, solidly
**solidifier,** *v. a.*, to solidify

*se* **solidifier,** *v r*, to become solid
**solliciter,** *v a*, to solicit
**solution,** *n f*, solution
**solutions types,** standardized solutions
**sombre,** *adj*, dark
**sommaire,** *n. m*, summary, abstract
**sommairement,** *adv*, briefly
**somme,** *n f*, sum
**sommeil,** *n m*, sleep
**sommet,** *n m.*, summit, top
**son,** *n m*, sound, bran
**son, sa, ses,** *adj.*, his, her, its, one's
**sonder,** *v a*, to sound, to fathom
**songer,** *v n*, to think, to dream
**sonner,** *v a*, to ring, to sound
**sonnette,** *n f*, bell
**sorbier,** *n m*, mountain ash
(**huile de sorbier,** mountain ash berry oil)
**sort,** *n m*, fate
**sorte,** *n f*, kind
**sortie,** *n f*, going out, leaving, outlet, issue
**sortir,** *v a, v n*, to go out, to take out
**soubresaut,** *n m*, bumping
**souci,** *n m*, care, anxiety
*se* **soucier,** *v r*, to care, to mind
**soucieu-x, -se,** *adj*, anxious
**soudain, -e,** *adj*, sudden
**soudain,** *adv*, suddenly
**soudainement,** *adv*, suddenly
**soude,** *n. f*, soda
**souder,** *v a*, to solder
*se* **souder,** *v r.*, to unite
**soudure,** *n f*, welding, uniting
**souffler,** *v a, v. n*, to blow
**soufflerie,** *n. f*, bellows, blast-lamp
**souffrance,** *n f*, suffering
**souffrant, -e,** *adj*, suffering
**souffrir,** *v n*, to suffer
**soufre,** *n m*, sulphur
**soufre en canons,** roll sulphur
**soufrer,** *v a.*, to dip in sulphur, to spray with sulphur
**souhait,** *n. m*, wish
**souhaiter,** *v a*, to wish, to wish for
**souillé, -e,** *adj*, contaminated
**souiller,** *v a*, to soil, to contaminate
**soulageant, -e,** *adj*, easing
**soulagement,** *n. m*, relief
**soulager,** *v a*, to relieve
**soulèvement,** *n m*, rising, swelling
**soulever,** *v a.*, to raise, to lift
*se* **soulever,** *v r.*, to raise one's self, to rise
**soumettre,** *v. a*, to submit, to subdue, to subjugate
*se* **soumettre,** *v r*, to submit
**soupape,** *n f*, valve, strike valve, discharge valve
**soupçon,** *n m*, suspicion
**soupçonner,** *v a*, to suspect
**souple,** *adj*, supple, flexible
**souplement,** *adv*, flexibly
**souplesse,** *n f*, suppleness, flexibility
**source,** *n f*, source, spring
**sourd, -e,** *adj*, deaf, dull
**sourdre,** *v n*, to spring, to arise
**sous,** *prep*, under, beneath, sub
**souscrire,** *v a*, to subscribe
**sous-produit,** *n m*, by-product
**sous-sol,** *n m*, subsoil
**soustraire,** *v a*, to subtract, to remove
*se* **soustraire,** *v r*, to escape
**soutenir,** *v a.*, to support, to sustain
**soutenu, -e,** *adj*, supported, sustained, continued
**souterrain, -e,** *adj*, subterranean
**soutien,** *n m.*, support, maintenance
**soutirer,** *v. a*, to draw off
**souvenir,** *n. m*, remembrance, recollection
*se* **souvenir de,** *v. r.*, to remember
**souvent,** *adv*, often
**soyeu-x, -se,** *adj*, silky

**spacieusement,** *adv.,* spaciously
**spacieu-x, -se,** *adj.,* spacious
**spatule,** *n. f.,* spatula
**spécialement,** *adv*, especially
**spécieu-x, -se,** *adj*, specious
**spécifique,** *adj.,* specific
**spécifiquement,** *adv*, specifically
**spontanément,** *adv*, spontaneously
**squelette,** *n m*, skeleton
**stade,** *n m*, stage, period
**stationner,** *v n.,* to stand
**stimuler,** *v a*, to stimulate
**suant, -e,** *adj*, sweating
**subir,** *v a*, to undergo, to sustain
**subit, -e,** *adj*, sudden
**subitement,** *adv*, suddenly
**subjuguer,** *v a*, to subjugate, to master
**sublimé** *n m*, sublimate
**sublimer,** *v a*, to sublime
**subordonner,** *v a*, to subordinate
**substituer,** *v a*, to substitute
**subvenir,** *v n*, to provide, to help
**suc,** *n m*, juice
**succéder,** *v. a*, to succeed
**succès,** *n m*, success
**successi-f, -ve,** *adj*, successive
**successivement,** *adv*, successively
**succomber,** *v n*, to succumb, to die
**sucer,** *v a*, to suck
**sucre,** *n m*, sugar
**sucre d'orge,** barley sugar
**sucre de fruit,** fruit sugar
**sucre interverti,** inverted sugar
**sucre de lait,** milk sugar
**sucré, -e,** *adj*, sugared, sweet
**sucrer,** *v. a.,* to sweeten
**sucrerie,** *n. f*, sugar-works, sweet things
**suer,** *v. n*, to sweat
**sueur,** *n. f.,* perspiration
**suffire,** *v. n.,* to suffice
**suffisamment,** *adv*, sufficiently
**suffisant, -e,** *adj.,* sufficient
**suffocant, -e,** *adj.,* suffocating
**suffoquer,** *v a*, to suffocate
**suggérer,** *v a*, to suggest
**suie,** *n f.,* soot
**suif,** *n m.,* tallow
**suif d'os,** bone fat
**suint,** *n. m*, wool grease
**suintement,** *n m*, oozing
**suinter,** *v n*, to ooze
**suite,** *n f*, continuation, order
**suivant,** *prep*, according to
**suivant que,** *conj*, as, according as
**suivant, -e,** *adj*, followed, connected
**suivre,** *v a*, to follow
**suivi, -e,** *part*, followed, connected
**suivre,** *v a*, to follow
**sujet, -te,** *adj*, subject, liable
**sujet,** *n m*, subject
**sulfhydrate,** *n m*, sulphhydrate, hydrosulphide
**sulfhydrique,** *adj*, hydrosulphuric
**sulfure,** *n m*, sulphide
**sulfure d'ammonium,** ammonium sulphide
**sulfure de carbone,** carbon bisulphide
**sulfuré, -e,** *adj*, sulphureted
**sulfureu-x, -se,** *adj*, sulphurous
**superflu, -e,** *adj*, superfluous
**supérieur, -e,** *adj*, superior
**supérieurement,** *adv*, in a superior manner
**suppléer,** *v. a*, to make up, to substitute
**supplier,** *v. a*, to beseech
**support,** *n. m*, stand
**support à ratelier,** test-tube rack
**support à trépied,** tripod
**supporter,** *v. a.,* to support
**supposé, -e,** *part.,* supposed
**supposer,** *v. a*, to suppose
**supprimer,** *v. a.,* to suppress
**suppurer,** *v. n*, to suppurate
**sur,** *prep.,* on, upon
**sur, -e,** *adj.,* sour

**sûr, -e,** *adj*, sure, certain
**surcharge,** *n f.*, additional load, overcharge
**surcharger,** *v a*, to overload
**surchauffe,** *n.f*, superheating
**surchauffer,** *v.a*, to overheat, to superheat
**surchauffé, -e,** *adj*, superheated
**surcroit,** *n m.*, increase
**surélévation,** *n f*, rise
**sûreté,** *n f*, safety, security
**surgir,** *v n*, to arise
**surhumain, -e,** *adj*, superhuman
**surmonter,** *v a.*, to surmount, to overcome
**surnager,** *v n*, to float on the surface
**surpasser,** *v a*, to surpass, to exceed
**surprenant, -e,** *adj*, surprising
**surprendre,** *v a*, to surprise
**sursaturer,** *v a*, to supersaturate
**surtout,** *adv*, especially
**surveiller,** *v a*, to watch
**survenir,** *v n*, to happen unexpectedly
**survivre,** *v n*, to survive
**susciter,** *v a*, to raise, to stir up
**suspendre,** *v a*, to suspend
**systématique,** *n m.*, systematizing
**systématiquement,** *adv*, systematically
**systématiser,** *v a*, to systematize

T

**ta,** *poss adj f*, thy
**tabac,** *n m*, tobacco
**table de travail,** *n f*, work table
**tableau,** *n m*, blackboard, painting, table
**tablette,** *n f.*, shelf, tablet, pill
**tablier,** *n m*, apron
**tabouret,** *n m*, stool
**tache,** *n f*, spot, stain
**tâche,** *n f*, task
**tacher,** *v a*, to stain
**tâcher,** *v a*, to try
**tacheté, -e,** *adj.*, spotted
**tacheter,** *v a*, to speckle
**taille,** *n.f.*, cutting, statue, waist
**taillé, -e,** *part*, cut, carved
**tailler,** *v a.*, to cut, to carve, to trim
*se* **taire,** *v r.*, to be silent, to become silent
**talon,** *n m*, heel
**tambour,** *n m*, drum
**tamis,** *n m*, sieve
(passer au tamis, to sift)
**tamisage,** *n m*, sifting
**tamiser,** *v.a*, to sift
**tampon,** *n m*, plug, pad
**tamponner,** *v a*, to plug
**tandis que,** *conj*, while, whilst, whereas
**tanin,** *n m*, tannin
**tannage,** *n m*, tanning
**tanné, -e,** *adj*, tan colored, tanned
**tanner,** *v a*, to tan
**tannerie,** *n f.*, tan-yard, tannery
**tant,** *adv*, presently, soon
**tapage,** *n m.*, noise, racket
**tape,** *n f*, rap, tap
**taper,** *v a*, to hit, to tap
**tapis,** *n m*, carpet, rug, cover
**tard,** *adv*, late
**tarder,** *v n*, to tarry, to be long
**tardi-f, -ve,** *adj*, tardy, late, backward
**tare,** *n.f*, tare
**taré, -e,** *adj*, tared
**tarer,** *v a.*, to tare
**tarir,** *v.a*, to drain, to exhaust
**tartre,** *n m*, tartar
**tartrique,** *adj.*, tartaric
**tas,** *n m*, heap, pile
**tasse,** *n f*, cup
**tassée,** *n f*, cupful
**tasser,** *v a*, to heap up
**tâter,** *v a.*, to feel, to try
**tâtonnement,** *n m.*, groping
**tâtonner,** *v a*, to grope

**tâtons**, *adv*, (à **tâtons**, groping)
**tautomère**, *adj*, tautomeric
**taux**, *n. m*, rate of interest
**te**, *pron*, thee, to thee
**teindre**, *v. a.*, to dye, to tinge
**teint**, *n m*, complexion, colour
**teinte**, *n. f.*, tint, shade
**teinter**, *v. a.*, to tint
**teinture**, *n f*, dyeing shop, tincture
**teinturerie**, *n f*, dye-works
**teinturi-er**, **-ère**, *n*, dyer
**tel**, **-le**, *adj*, such, like
**tellement**, *adv*, so, so much
**tellure**, *n. m*, tellurium
**téméraire**, *adj*, rash, foolhardy
**témérairement**, *adv*, rashly
**témérité**, *n f.*, rashness, temerity
**témoignage**, *n m*, testimony, evidence
**témoigner**, *v a*, to testify
**témoin**, *n m.*, witness
**temps**, *n m*, time, term, weather
**tenace**, *adj*, tenacious, adhesive
**tendre**, *adj*, tender, soft
**tendre**, *v. a*, to stretch
**tendre**, *v n*, to tend, to lead to
**tendrement**, *adv*, tenderly
**tendresse**, *n f*, tenderness
**tendu**, **-e**, *part*, bent, tight, strained
**ténèbres**, *n f plur*, darkness
**ténébreu-x**, **-se**, *adj*, dark, obscure
**teneur**, *n f*, percentage, contents
**tenir**, *v a*, to hold, to contain
**tenir**, *v n*, to take after
*se* **tenir**, *v r.*, to hold, to be standing, to be
**tentant**, **-e**, *adj*, tempting
**tentat-eur**, **-rice**, *adj*, tempter
**tentation**, *n f*, temptation
**tentative**, *n. f.*, attempt
**tenter**, *v a*, to attempt, to tempt
**tenu**, **-e**, *part*, held, bound, compact, minute
**tenue**, *n f*, deportment, bearing, bookkeeping
**térébenthine**, *n. f.*, turpentine
**terme**, *n. m.*, term, end, limit, end point, member
**terminer**, *v. a*, to terminate, to end, to limit
**terne**, *adj.*, tarnished, dull
**ternir**, *v. a*, to tarnish, to dull
**terrain**, *n. m.*, ground
**terre**, *n f*, earth, land
**terreau**, *n m*, compost
**terreu-x**, **-se**, *adj*, earthy, dirty
**terriblement**, *adv*, terribly
**terrifier**, *v a.*, to terrify
**terroir**, *n m*, earth, soil
**tes**, *poss adj plur*, thy
**tête**, *n f*, head, top
**thé**, *n m*, tea
**thème**, *n. m.*, theme, topic
**thèse**, *n f.*, thesis, discussion
**tiède**, *adj*, lukewarm, tepid
**tièdement**, *adv*, coldly, lukewarmly
**tiédeur**, *n f*, lukewarmness, tepidity
**tiédir**, *v a*, to cool, to become lukewarm
**tien**, **-ne**, *poss pron*, thine
**tiers**, *n m*, third part
**tige**, *n f*, stem
**timbre**, *n m*, ring, tone, stamp
**timidement**, *adv*, timidly
**tintement**, *n m*, tolling, ringing
**tinter**, *v a*, to ring, to toll
**tir**, *n m*, shooting
**tirage**, *n m*, draught
**tiraillement**, *n m*, pulling, twitching
**tirailler**, *v a*, to pull, to twitch
**tirant**, *n m*, draught
**tirer**, *v a*, to pull, to draw, to shoot
**tiroir**, *n m.*, drawer
**tisonner**, *v a*, to stir the fire
**tissage**, *n. m*, texture, weaving
**tisser**, *v a.*, to weave
**tisserand**, *n m.*, weaver
**tissu**, *n. m*, texture, fabric
**tissure**, *n. f*, texture, web

**titane,** *n m*, titanium
**titrage,** *n m.*, titration
**titrage en retour,** back titration
**titre,** *n. m.*, title, titre, normality factor
**titré, -e,** *adj*, titled, standardized (liqueurs titrées, standardized solutions)
**titrer,** *v. a*, to standardize
**toile,** *n f.*, cloth, linen-cloth, canvas
**toile métallique,** *n f*, wire gauze
**toiser,** *v a*, to measure
**toit,** *n m*, roof
**toiture,** *n f*, roof
**tôle,** *n f*, sheet-iron
**tolérablement,** *adv*, tolerably
**tolérer,** *v a*, to tolerate
**tomber,** *v n*, to fall, to drop
**ton, ta, tes,** *poss. adj*, thy
**ton,** *n m*, tone
**tondre,** *v a.*, to shear, to shave
**tondu, -e,** *part*, shorn
**tonneau,** *n. m*, ton, cask
**tonneler,** *v a*, to tunnel
**tonner,** *v n*, to thunder
**torchon,** *n m*, dish-cloth, duster
**tordre,** *v a.*, to twist, to wring
**tors, -e,** *adj*, twisted
**tort,** *n m*, wrong
**tortillement,** *n m*, twisting
**tortiller,** *v a*, to twist, to wriggle
**tortu, -e,** *adj*, crooked, tortuous
**tortueu-x, -se,** *adj.*, tortuous
**tôt,** *adv*, soon
**total,** *n m*, total, whole
**totalement,** *adv.*, totally
**totaliser,** *v a*, to form a total
**totalité,** *n. f*, whole
**touchant, -e,** *adj*, touching, moving
**touchant,** *prep*, concerning
**touche,** *n. f.*, touch, stroke
**toucher,** *v a*, to touch, to feel, to draw near
**touffe,** *n f.*, tuft
**toujours,** *adv*, always
**tour,** *n f*, tower
**tour,** *n m.*, turn, revolution, lathe
**tourbe,** *n. f*, peat
**tourbeu-x, -se,** *adj.*, peaty
**tourbillon,** *n. m*, whirlwind
**tourbillonner,** *v n*, to whirl
**tourmenter,** *v a.*, to torment
**tournant,** *n m*, turn
**tournant, -e,** *part*, turned
**tournée,** *n f*, circuit, round
**tourner,** *v. a*, *v n*, to turn, to revolve
*se* **tourner,** *v r*, to turn around
**tournesol,** *n m*, litmus, sunflower (**huile de tournesol,** sunflower oil)
**tournure,** *n. f*, turnings, turn
**tourteau,** *n m*, oil cake
**tous, toutes,** *adj*, all
**tout, -e,** *adj*, all, whole, every
**tout,** *n m*, whole
**tout,** *adv*, wholly, entirely
**tout à fait,** *adv*, quite
**toutefois,** *adv*, yet, nevertheless
**toux,** *n f.*, cough
**toxique,** *adj*, poisonous, toxic
**trace,** *n f*, trace, track, sign
**trace,** *n m*, sketch, outline
**tracer,** *v a.*, to sketch
**traditionnel, -le,** *adj*, traditional
**traduction,** *n f*, translation
**traduire,** *v a.*, to translate
**traduisable,** *adj.*, translatable
**trahir,** *v a*, to betray, to disclose
**trahison,** *n. f*, treason, treachery
**train,** *n m*, pace, rate, train
**traînant, -e,** *adj*, dragging, trailing
**traînée,** *n f*, trail, layer
**traîner,** *v a.*, *v. n.*, to draw, to drag, to trail
*se* **traîner,** *v r*, to crawl, to creep along
**trait,** *n. m*, stroke, trait, dash, line, mark
**traitable,** *adj.*, tractable, manageable

**traité,** *n m.*, treatise, agreement
**traitement,** *n. m.*, treatment
**traiter,** *v. a.*, *v. n.*, to treat
**trajet,** *n. m*, passage, journey
**tramer,** *v a*, to weave, to plot
**tranchant, -e,** *adj.*, sharp, cutting
**tranche,** *n. f*, slice
**tranchée,** *n f*, trench
**trancher,** *v a*, to cut, to settle
**tranquille,** *adj*, quiet, calm
**tranquillement,** *adv.*, quietly
**tranquiliser,** *v. a*, to quiet
*se* **tranquiliser,** *v. r*, to grow easy, to calm one's self
**transbordement,** *n m.*, trans-shipment
**transborder,** *v a*, to trans-ship
**transcendance,** *n f*, transcendency
**transcrire,** *v a*, to transcribe
**transférer,** *v a*, to transfer
**transi, -e,** *adj*, chilled
**transitoire,** *adj*, transitory, transient
**transmettre,** *v a*, to transmit
**transpercer,** *v a*, to pierce through and through
**transpirer,** *v n*, to perspire
**transport,** *n m*, carriage, conveyance
**transportable,** *adj*, that may be conveyed
**transporter,** *v a*, to transport, to convey
**trappe,** *n f*, trap
**traquer,** *v a*, to surround, to hem in
**travail,** *n m*, work
**travailler,** *v n*, to work
**traverse,** *n f*, cross-beam
**traversée,** *n f*, passage, voyage
**traverser,** *v. a.*, to cross
**travesti, -e,** *adj.*, disguised
**travestir,** *v a.*, to disguise
**trébucher,** *v n.*, to stumble
**trèfle,** *n. m*, clover
**treillis,** *n m*, lattice-work
**treize,** *adj*, thirteen
**treizième,** *adj*, thirteenth
**tremblant, -e,** *adj*, trembling, shivering
**tremblement,** *n m.*, trembling, quaking
**trembler,** *v. n*, to shake, to shiver, to fear
**trembloter,** *v n*, to quiver
**trémie,** *n f*, mill-hopper
**trempage,** *n m*, steeping, wetting
**trempe,** *n. f*, temper (of steel), wetting
**trempé, -e,** *adj*, wet, tempered
**tremper,** *v a.*, to wet, to dip, to temper
**trentaine,** *n f*, about thirty
**trente,** *adj*, thirty
**trentième,** *adj*, thirtieth
**trépied,** *n m*, tripod
**très,** *adv*, very
**trésor,** *n m*, treasure, treasury
**tressaillir,** *v n*, to start, to leap, to jump
**tresser,** *v a*, to weave, to plait
**triage,** *n m*, sorting
**tribu,** *n f*, tribe
**trier,** *v a*, to pick, to sort
**trimère,** *n. m*, polymere (condensation of 3 molecules)
**triompher,** *v a*, to triumph
**triplement,** *adv*, trebly
**tripler,** *v a*, to treble
**triste,** *adj*, sad, dull
**tristement,** *adv*, sadly
**tristesse,** *n f*, sadness
**triturer,** *v a*, to triturate
**trois,** *adj.*, three
**troisième,** *adj*, third
**trompe,** *n f*, water pump
**trompe à eau,** water suction pump
**trompe à mercure,** mercury pump
**trompe à vide,** vacuum pump
**tromper,** *v. a.*, to deceive

*se* **tromper,** *v r*, to be mistaken
**trompeu-r, -se,** *adj.*, delusive, false
**tronc,** *n m*, trunk, stem
**tronçon,** *n m*, fragment, section
**tronconique,** *adj*, truncated
**trop,** *adv*, too much, too many, too
**trop-plein,** *n m.*, overflow, catch-all
**trou,** *n m.*, hole
**trou de coulée,** discharge opening
**trou d'écoulement,** outlet
**trou d'homme,** manhole
**trouble,** *n m.*, cloudiness
**trouble,** *adj*, cloudy
**troubler,** *v a.*, to trouble, to make cloudy
**tu,** *pron*, thou
**tumultu-eux, -euse,** *adj*, noisy, violent
**turbine,** *n f*, centrifugal machine
**tuant, -e,** *adj.*, killing, tiresome
**tube abducteur,** *n m*, exit tube
**tube à dégagement,** exit tube, delivery tube
**tube d'arrivée,** inlet tube
**tube de sûreté,** safety tube
**tube en verre,** glass tube
**tube latéral,** side tube, side-neck
**tubulé, -e,** *adj*, tubulated
**tubulure,** *n f*, small tube, side-neck
**tuer,** *v. a.*, to kill
**tuile,** *n. f*, tile
**tuyau,** *n m*, pipe, tube
**tuyère,** *n f*, blast-pipe
**type,** *adj*, type, standard
(solutions types, standard solutions)
**typique,** *adj.*, typical

## U

**ulcéré, -e,** *adj*, ulcerated
**ultérieur, -e,** *adj*, ulterior, subsequent
**ultérieurement,** *adv.*, subsequently
**un, une,** *pron., art*, one, a, an, any
**unanimement,** *adv*, unanimously
**uni, -e,** *adj.*, united, smooth, level
**unifier,** *v a.*, to unite, to amalgamate
**uniquement,** *adv.*, only, solely
**unir,** *v a.*, to unite, to join together
*s'***unir,** *v r*, to unite, to join together
**unité,** *n f*, unity, unit
**universellement,** *adv*, universally
**urée,** *n f*, urea
**usage,** *n m*, custom, practice
**usé, -e,** *adj*, worn out
**user de,** *v a*, to use, to make use of
**user,** *v a*, to wear out, to use up
*s'***user,** *v r*, to wear out, to waste
**usine,** *n f*, factory
**usité, -e,** *adj*, usual, in use
**ustensile,** *n m*, utensil, implement
**usuel, -le,** *adj*, usual, customary
**usuellement,** *adv.*, usually
**utile,** *adj*, useful
**utilement,** *adv*, usefully
**utiliser,** *v a*, to utilize
**utilité,** *n f*, usefulness

## V

**vacant, -e,** *adj*, vacant
**vache,** *n. f.*, cow
**vacillant, -e,** *adj*, vacillating
**vaciller,** *v. n*, to vacillate
**va-et-vient,** *n. m*, see-saw motion
**vague,** *n f*, wave
**vague,** *adj*, vague, uncertain
**vague,** *n m.*, vagueness, space
**vaguement,** *adv*, vaguely
**vaguer,** *v n*, to ramble, to rove
**vaillammnent,** *adv.*, valiantly
**vaillant, -e,** *adj*, valiant, brave
**vain, -e,** *adj*, vain
**vaincre,** *v a*, to vanquish, to conquer
**vaincu,** *n m*, conquered
**vainement,** *adv.*, vainly, in vain
**vainqueur,** *n. m.*, conqueror, victor
**vaisseau,** *n m.*, vessel, ship
**vaisselle,** *n. f*, plates, dishes

**valable,** *adj*, valid
**valet en paille,** *n. m*, straw ring
**valeur,** *n f*, value
**valeur limite,** limiting value
**valide,** *adj.*, valid, good
**validement,** *adv.*, validly
**valider,** *v. a*, to validate, to make valid
**vallée,** *n. f.*, valley
**valoir,** *v. n*, to be worth
**value,** *n f*, value
**vanille,** *n. f*, vanilla
**vanter,** *v a*, to praise, to extol
*se* **vanter,** *v. r*, to boast
**vapeur,** *n. f.*, vapor, steam
**vaporeu-x, -se,** *adj*, vaporous
**vaporiser,** *v a*, to vaporize
*se* **vaporiser,** *v r*, to vaporize
**variabilité,** *n f*, variability
**variant, -e,** *adj.*, variable
**varier,** *v. a*, *v n.*, to vary, to be at variance
**variété,** *n f*, variety, change
**vase,** *n m.*, vase, vessel, beaker
**vase,** *n f*, slime, mud
**vaseu-x, -se,** *adj*, slimy, muddy
**vaste,** *adj*, vast, extensive
**vastement,** *adv*, vastly
**veau,** *n m*, calf
**végétal, -e,** *adj*, vegetable
**végétant, -e,** *adj*, vegetating
**végéter,** *v n*, to vegetate
**véhicule,** *n m*, vehicle, medium
**veille,** *n f*, watch
**veiller,** *v. a*, *v. n.*, to watch, to take care
**veiller à ce que,** to watch that
**veine,** *n. f.*, vein
**veiné, -e,** *adj*, veined
**vélocité,** *n f*, velocity
**velours,** *n. m*, velvet
**velouté, -e,** *adj.*, velvety
**velu, -e,** *adj.*, hairy
**vendre,** *v a.*, to sell
**vendredi,** *n m.*, Friday
**vênérablement,** *adv.*, venerably, reverently
**vênérer,** *v. a.*, to venerate
**venger,** *v. a*, to avenge
*se* **venger,** *v. r*, to revenge one's self
**venin,** *n m*, venom
**venir,** *v n*, to come
**venir de,** to have just
**vent,** *n m*, wind
**vente,** *n. f*, sale
**ventre,** *n m*, belly, stomach
**venue,** *n f*, coming, arrival
**ver,** *n m*, worm
**verbalement,** *adv*, verbally
**verbaliser,** *v a.*, to draw a written statement
**verdâtre,** *adj*, greenish
**verdir,** *v. a.*, to grow green, to turn green
**verdure,** *n f*, greenness
**vêreu-x, -se,** *adj*, worm-eaten
**verge,** *n f*, rod
**verger,** *n m*, orchard
**vérificateur,** *n m*, examiner, auditor
**vérifier,** *v a*, to verify, to inspect
**véritable,** *adj*, true, real
**véritablement,** *adv*, truly
**vérité,** *n f*, truth
**vermeil, -le,** *adj*, ruddy, rosy
**vermoulu, -e,** *adj.*, worm-eaten
**vernir,** *v a*, to varnish
**vernis,** *n m*, varnish
**verre,** *n m*, glass
**verre de montre,** watch glass
**verre à expérience,** glass cylinder
**verrerie,** *n. f*, glass-works, glassware
**verrier,** *n m.*, glass-maker
**verrou,** *n m.*, bolt
**vers,** *n m*, verse
**vers,** *prep*, towards, about
**versant,** *n m.*, declivity, side
**versé, -e,** *adj.*, versed, skilled

**versement,** *n m*, payment
**verser,** *v. a*, to pour, to spill
**vert, -e,** *adj*, green
**vert,** *n m.*, green color
**vert-de-gris,** *n m*, verdigris
**vertébré, -e,** *adj.*, vertebrate
**verticalement,** *adv.*, vertically
**vertu,** *n f*, virtue, property
**vesce,** *n. f*, vetch
**vessie,** *n f*, bladder
**vêtir,** *v a*, to clothe
*se* **vêtir,** *v r*, to dress one's self
**vêtu, -e,** *part.*, dressed, clad
**vexant, -e,** *adj*, provoking
**vexer,** *v a*, to provoke
**viag-er, -ère,** *adj.*, for life
**viande,** *n f*, meat
**vibrant, -e,** *adj*, vibrating
**vibrer,** *v n*, to vibrate
**vicié, -e,** *adj*, vitiated
**vicier,** *v. a*, to vitiate
**vicieusement,** *adv*, viciously
**vicieu-x, -se,** *adj*, vicious
**victoire,** *n f*, victory
**victorieusement,** *adv*, victoriously
**victorieu-x, -se,** *adj*, victorious
**vide,** *adj*, empty, void
**vide,** *n m*, void, vacuum
(faire le vide, to evacuate)
**vidé, -e,** *part*, emptied
**vider,** *v a*, to empty
*se* **vider,** *v r*, to empty itself, to be emptied
**vie,** *n f*, life
**vieil, -le,** *adj*, old
**vieillir,** *v n*, to grow old, to age
**vierge,** *n f*, virgin
**vieux,** *adj m plur*, old
**vi-f, -ve,** *adj*, live, lively, sharp
**vigilamment,** *adv*, vigilantly
**vigne,** *n f*, vine, vineyard
**vignoble,** *n. m*, vineyard
**vigoureusement,** *adv*, vigorously
**vigueur,** *n. f*, vigour, force
**vilain, -e,** *adj*, ugly
**vilainement,** *adv*, uglily
**ville,** *n f*, town, city
**vin,** *n m.*, wine
**vinaigre,** *n. m*, vinegar
**vindicati-f, -ve,** *adj.*, vindictive, revengeful
**vineu-x, -se,** *adj*, vinous, wine-colored
**vingt,** *adj*, twenty
**vingtième,** *adj.*, twentieth
**violacé, -e,** *adj*, purple
**violemment,** *adv*, violently
**violent,** *adj*, violent
**violer,** *v a*, to violate
**violet, -te,** *adj*, violet-colored
**virement,** *n m*, turning, shifting
**virer,** *v n*, to turn, to shift, to change color at the end point
**viril, -e,** *adj*, virile, manly
**vis,** *n f*, screw
**vis calante,** *n f*, leveling screw
**visage,** *n m*, face, aspect
**vis-à-vis,** *adv, prep*, opposite
**viscosité,** *n f*, viscosity
**viser,** *v a*, to aim
**visiblement,** *adv*, visibly
**visiter,** *v a.*, to visit
**visqueu-x, -se,** *adj*, viscous
**visser,** *v a*, to screw
**visuel, -le,** *adj*, visual
**vital, -e,** *adj*, vital, essential
**vitalement,** *adv*, vitally, essentially
**vite,** *adj*, swift, rapid
**vite,** *adv*, quick, quickly
**vitesse,** *n f.*, swiftness, speed
**vitre,** *n. f*, glass, pane of glass
**vitreu-x, -se,** *adj.*, vitreous
**vitrifier,** *v a.*, to vitrify
**vitrine,** *n. f*, glass case
**vivant, -e,** *adj*, living, alive
**vivement,** *adv.*, quickly, briskly
**vivifiant, -e,** *adj*, vivifying
**vivifier,** *v. a*, to vivify, to animate
**vivre,** *v n*, to live

**vivre,** *n m*, living, food
**vocabulaire,** *n. m*, vocabulary
**vœu,** *n. m*, vow
**voici,** *prep.*, here is, this is, these are
**voie,** *n f*, way, road
**voie humide,** wet way
**voie sèche,** dry way
**voilà,** *prep*, that is, those are, there is, there are
**voile,** *n m*, veil, mark
**voiler,** *v a.*, to veil, to conceal
**voir,** *v a*, to see
**voisin, -e,** *adj*, adjacent, next
**voisin, -e,** *n.*, neighbor
**voisinage,** *n m.*, neighborhood, vicinity
**voiture,** *n f*, carriage
**voix,** *n f*, voice
**vol,** *n. m*, theft
**vol,** *n m.*, flying, soaring
**volaille,** *n f*, poultry
**volant, -e,** *adj*, flying, loose
**volant,** *n m*, fly-wheel, guiding-wheel
**volatil, -e,** *adj*, volatile
**volatiliser,** *v. a*, to volatilize
*se* **volatiliser,** *v r*, to volatilize
**volée,** *n f*, flight, discharge of guns
**voler,** *v a*, *v n*, to fly, to steal
**volet,** *n m*, window-shutter
**voleu-r, -se,** *adj*, thief
**volontaire,** *adj*, voluntary
**volonté,** *n f*, will
**volontiers,** *adv*, willingly
**voltaique,** *adj*, voltaic
**voltiger,** *v n*, to flutter
**volumineu-x, -se,** *adj*, voluminous
**vomir,** *v a.*, to vomit
**voracement,** *adv.*, ravenously
**voter,** *v n.*, to vote
**votre,** *poss. adj*, your
(**le vôtre, la vôtre, les vôtres,** *poss. pron.*, yours)
**vouer,** *v. a*, to vow, to dedicate
**vouloir,** *v. a.*, to will, to want, to be willing
**vous,** *pers pron*, you
**voûte,** *n. f.*, vault, arch
**voûter,** *v a.*, to vault, to arch
**voyage,** *n m*, voyage, journey, trip
**voyager,** *v n*, to travel
**vrai, -e,** *adj*, true
**vrai,** *n m*, truth
**vraiment,** *adv*, truly
**vraisemblable,** *adj*, likely
**vraisemblablement,** *adv*, likely
**vraisemblance,** *n f*, likelihood
**vu que,** *conj*, seeing that, since
**vue,** *n f*, sight, eyesight
**vulcanisé, -e,** *adj*, vulcanized
**vulcaniser,** *v a*, to vulcanize

## X

**Xbre,** abbreviation for December
**xylène,** *n m*, xylene

## Y

**y,** *adv*, there
**y,** *pers pron*, by it, by them, for it, for them, to it, to them
**yeux,** *n m*, *plur*, eyes

## Z

**zélé, -e,** *adj*, zealous
**zéro,** *n m*, zero, naught
**zincique,** *adj*, zinc, of zinc
**zinguer,** *v. a*, to cover with zinc

**HARDY**—Infinitesimals and Limits. Small 12mo Paper. Pages 22 6 Figures . . . . . . $0 20

**HART**—Chemistry for Beginners Small 12mo Vol. I Inorganic Pages VIII + 214. 55 Illustrations, 2 Plates.. . . . . . $1 00

**HART**—Chemistry for Beginners. Small 12mo. Vol II. Pages IV + 98 11 Illustrations. . . . . . . . $0 50

**HART**—Second Year Chemistry Small 12mo Pages 165. 31 Illustrations . . . . . . $1 25

**HART, R. N**—Leavening Agents 8vo. Pages IV + 90 13 Illustrations . . . . $1 50

**HEESS**—Practical Methods for the Iron and Steel Works Chemist. 8vo Pages 60 . . $1 25

**HILL**—A Brief Laboratory Guide for Qualitative Analysis 12mo Pages VI + 80

**HINDS**—Qualitative Chemical Analysis 8vo Pages VIII + 266 $2 50

**HOWE**—Inorganic Chemistry for Schools and Colleges. 8vo Pages VIII + 422

**JONES**—The Freezing Point, Boiling Point and Conductivity Methods Pages VIII + 76 2nd Edition, completely revised $1 25

**KRAYER**—The Use and Care of a Balance Small 12mo Pages IV + 42 18 Illustrations . $1 00

**LANDOLT**—The Optical Rotating Power of Organic Substances and Its Practical Applications. 8vo. Pages XXI + 751 83 Illustrations . . $7 50

**LEAVENWORTH**—Inorganic Qualitative Chemical Analysis. 8vo Pages VI + 153 . . $1 50

**LE BLANC**—The Production of Chromium and Its Compounds by the Aid of the Electric Current 8vo Pages 122 $1 50

**LOCKHART**—American Lubricants 8vo Pages X + 236 Illustrated

**MASON**—Notes on Qualitative Analysis Small 12mo Pages 58

**MEADE**—Chemists' Pocket Manual 12mo 3rd Edition Pages IV + 530 42 Figures $4 00

**MEADE**—Portland Cement 2d Edition 8vo. Pages X + 512. 169 Illustrations . . $5 00

**MOELLER-KRAUSE**—Practical Handbook for Beet-Sugar Chemists. 8vo Pages VIII + 132 19 Illustrations . . $1 50

**MOISSAN**—The Electric Furnace 8vo. Pages X + 305. 41 Illustrations .

**NIKAIDO**—Beet-Sugar Making and Its Chemical Control 8vo. Pages XII + 354 65 Illustrations . . . . . . . . $3 50

**NISSENSON**—The Arrangement of Electrolytic Laboratories. 8vo. Pages 81 52 Illustrations . . . . . . . $1 50

**NOYES**—Organic Chemistry for the Laboratory. 3d Edition, revised. 8vo Pages XII + 292 41 Illustrations . . . . . . . . . . . . . $2 50

**NOYES AND MULLIKEN**—Laboratory Experiments on Class Reactions and Identification of Organic Substances. 8vo Pages 81.

**PARSONS**—The Chemistry and Literature of Beryllium. 8vo. Pages VI + 180.... ... . . . . ......... .... .. ........ .. **$2.00**

**PFANHAUSER**—Production of Metallic Objects Electrolytically. 8vo Pages 162 100 Illustrations . . . . $1 50

**PHILLIPS**—Chemical German 2d Edition 8vo Pages VIII + 252 $2.50

**PHILLIPS**—Methods for the Analysis of Ores, Pig Iron and Steel. 2d Edition 8vo Pages VIII + 170. 3 Illustrations

**PRANKE**—Cyanamid (Manufacture, Chemistry and Uses). 8vo. Pages VI + 112. 8 Figures . $1 50

**SEGER**—Collected Writings of Herman August Seger. Papers on Manufacture of Pottery. 2 Vols. Large 8vo... . . . ..per vol $7 50 or $15.00 per set

**STILLMAN**—Engineering Chemistry 5th Edition 8vo Pages VIII + 760 150 Illustrations . . $6 00

**STILLMAN**—Examination of Lubricating Oils. 8vo Pages IV + 125 35 Illustrations . . . . $1 75

**TOWER**—The Conductivity of Liquids. 8vo Pages 82 20 Illustrations . . . . . **$1.50**

**Van KLOOSTER**—Lecture Demonstrations in Physical Chemistry 12mo Pages VI + 196 83 Figures $2 00

**VENABLE**—The Development of the Periodic Law. Small 12mo. Pages VIII + 321 Illustrated . . . . . . $2.50

**VENABLE**—The Study of the Atom 12mo Pages VI + 290 $2 25

**VULTE**—Household Chemistry 12mo 2nd Edition Pages VI + 243 $1 50

**VULTE AND VANDERBILT**—Food Industries—An Elementary Text-book on the Production and Manufacture of Staple Foods 2d Edition. 8vo Pages X + 327 81 Illustrations

**WILEY**—Principles and Practice of Agricultural Analysis. Vol. I—Soils Pages XII + 636 92 Illustrations . $4 00

**WILEY**—Principles and Practice of Agricultural Analysis Vol. II—Fertilizers and Insecticides Pages 684. 40 Illustrations. 7 Plates . .. . . .... . . . . . . . .. . **$4.50**

**WILEY**—Principles and Practice of Agricultural Analysis Vol. III—Agricultural Products. Pages XVI + 846. 127 Illustrations **$6.00**

**WYSOR**—Analysis of Metallurgical and Engineering Materials—a Systematic Arrangement of Laboratory Methods. Size 8½ x 10½ Pages 82. Illustrated. Blank Pages for Notes. ..... . **$2.00**

**WYSOR**—Metallurgy—a Condensed Treatise for the Use of College Students and Any Desiring a General Knowledge of the Subject. 2d Edition, revised and enlarged. 8vo. Pages XIV + 391 104 Illustrations

**ZIEGEL**—Brief Course in Metallurgical Analysis Pages VI + 72.. $1.25